#64

ISSN 0582—415X

LIBRARY

JUN 17 1988

National Marine Fisheries Service
2570 Dole Street
Honolulu, Hawaii

西水研研報
Bull. Seikai Reg.
Fish. Res. Lab.
(64), 1987

BULLETIN
OF THE
SEIKAI REGIONAL FISHERIES RESEARCH LABORATORY

No. 64
March 1987

西海区水産研究所研究報告

第64号

日本海南西沿岸における春季の表面水温の急上昇と急低下
…………加藤　修・林　小八・濱崎清一　1

東シナ海における高濁度域（英文）………田中勝久・宇野史郎・坂本　亘・代田昭彦　13

東シナ海・黄海域における堆積物の海底地質学的区分……………浜田七郎・満塩大洸　25

長崎県平戸島志々伎湾におけるクロロフィル *a* の現存量と
基礎生産量……………………………………………木元克則・中嶋純子・森岡泰啓　35

大阪湾における動物プランクトンの出現特性，現存量及び生産量……………古賀文洋　47

九州西部平戸島近海におけるヒラメ稚仔の餌料要求とプランクトン
の分布様式（英文）………………………………森岡泰啓・中嶋純子・木元克則　67

微小動物プランクトン計数方法の検討………………………………中嶋純子・木元克則　77

開口比の異なる2種類のプランクトンネット内の水流……………小笹悦二・木元克則　83

西海区水産研究所

長崎市国分町49

昭和62年3月

Digitized by the Internet Archive
in 2025

https://archive.org/details/bulletin-seikai-national-fisheries-research-institute_1987-03_64

日本海南西沿岸における春季の表面水温の急上昇と急低下

加藤　修*・林　小八*・濱崎　清一*

Sudden Rise and Fall of Surface Water Temperature in Spring in the Southwest Coastal Region of the Japan Sea

Os amu KATOH*, Kohachi HAYASHI* and Seiichi HAMASAKI*

The sudden rise and fall of surface water temperature was observed several times in spring from April to June in 1982 at six points off Hagi, Nakaumi, Lake Toyoda, Aio, Izuhara and Saigo. In order to examine its causes, the relationship between the daily fluctuations of water temperature and air temperature, and the connection between their fluctuations and the weather were studied. This phenomenon occurred at all points simultaneously. It was corresponded to changes in air temperature at each point which was influenced in turn by the movement of high and low atmospheric pressures. Consequently, it seems that sudden changes in surface water temperature were due to the changes in weather and not to the passing of warm water mass. The surface water temperature seems to rise about 0.7℃ a day independent of the passing of warm water mass even at places which are under the influence of offshore water.

緒　　言

沿岸域におけるサバ類・イワシ類の漁況の変動が海況の変動とも深い関係があることはよく知られている．また，これらの稚仔魚は沿岸域で生活するため，その生き残りは沿岸域の海況にも左右されると考えられる．

現在，筆者らは漁況変動機構解明のために沿岸域におけるサバ類・イワシ類の漁況と周辺海域の海況との相互の関係について調査を進めている．この調査で海況の指標の1つとして山口県外海水産試験場の委託でフェリー会社が萩 NNW 15カイリ海上において観測した日別水温値を用いているが，春季（4月～6月）に水温の急上昇，急低下が毎年数回存在し，特に1982年には顕著に認められた（なお本報で水温の急上昇，急低下と言う場合には3～4日間で1.5℃～2.0℃程度の変化を基準としている）．このような水温の急上昇，急低下の原因を解明することは，漁況と海況との対応

本報告の概要は1985年4月，昭和60年度日本海洋学会春季大会（東京）において発表した．
昭和61年12月10日受理（Recieved December 10, 1986）
西海区水産研究所業績第428号（Contributions from the Seikai Regional Fisheries Research Laboratory, No. 428）
* 西海区水産研究所下関支所　〒750　下関市東大和町2-5-20（Seikai Regional Fisheries Research Laboratory, Shimonoseki Branch, Higashi-yamato-machi, Shimonoseki 750, Japan）

を考える上で非常に重要であるが，多くの場合，水温の急上昇，急低下の原因は水塊の交替によるものと考えられている（小川[1]，三井田ら[2]，Tawara and Fujiwara[3]）．

本研究は地理的に離れている複数の地点（日本海沿岸，瀬戸内海沿岸，湖）で観測された水温値を用いて，萩で認められた水温の急上昇，急低下が水塊の交替—特に暖水塊の通過—に起因するのか，それとも他の原因によるのかを明らかにすることを目的として行った．また，暖水塊の通過がない場合，海面を通しての熱交換により1日でどの程度表面水温が上昇するのか現象面からの考察も試みた．

本研究を行うにあたり貴重な水温観測資料を提供していただいた中国地方建設局出雲工事事務所，気象庁厳原測候所，気象庁西郷測候所，山口県木屋川ダム管理事務所，山口県内海水産試験場，山口県外海水産試験場の各機関に対し深謝の意を表す．最後に本報告を校閲していただき貴重な御意見をいただいた宮田和夫西海区水産研究所海洋部長，花渕信夫同下関支所長に深謝の意を表す．

資 料 と 方 法

水温観測資料は，中国地方建設局出雲工事事務所，気象庁厳原測候所，気象庁西郷測候所，山口県木屋川ダム管理事務所，山口県内海水産試験場，山口県外海水産試験場の各機関の1982年4月～6月における日別観測値を使用した．各観測地点間の特徴は次の通りである．日本海側に位置している長崎県厳原—山口県萩は約100海里，厳原—島根県西郷は約225海里離れている．対馬海峡東水道から山口県沿岸にかけての平均流速は夏期（5月～9月）の場合，対馬海峡付近では0.5～0.9ノットであるが沖ノ島以東になると0.5～0.6ノットとなる（小川[1]）．したがって，暖水塊が厳原を通過して萩に達するには，平均流速を0.7ノットと仮定しても5日以上必要とし，この3地点間に対馬海流の影響が同時に現れるとは到底考えられない．一方，山口県豊田湖は内陸部に位置して海洋と隔絶しており，島根県中海も外洋の影響は強くない．また山口県秋穂は瀬戸内海側に位置している．したがって豊田湖，中海，秋穂の水温変動に対して対馬海流の影響は無視できる（Fig. 1）．なお各機関の観測地点の観測時間，水深，測温方法を Table 1 に示す．

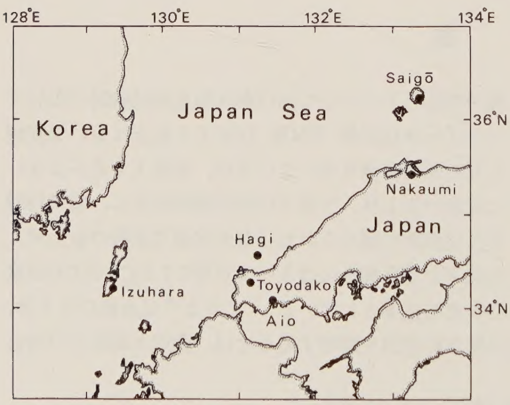


Fig. 1. 日別水温観測地点
Locations (●) of observation point of water temperature in the coastal and lake waters of the southwestern Honshū, Japan, April–June, 1982.

以上の資料から，まず萩で認められた水温の急上昇，急低下について4つの期間に分けて説明した．また各地点の水温変動を比較して萩で水温の急上昇，急低下が認められた各期間について各々，変動の特徴を調べた．その際，次の事項を考慮した．使用した観測値は中海では日平均値であるが他の5地点では瞬間時の値である．また観測場所の環境条件および観測方法も地点間で異なっている．そのため観測値には各地点ごとに局所的影響がかなり強く現れていると考えられる．そこで変動の特徴を把握するには，日々の細かい変動よりも数日単位における変動の大きさに着目した．

次に水温変動と気象との関係について調べた．まず各地点の水温変動と気温変動をグラフ化して対比させ萩で水温の急上昇，急低下が認められた各期間における気温変動の特徴を調べた．ここで気温を用いたのは気温変動が他の気象要素（日射量，風，湿度など）の変動をよく代表しているからである．気温の資料は豊田湖，秋穂，厳原では午前9時における観測値，萩は萩測候所の午前9時の観測値，中海，西郷ではそれぞ

Table 1. 各観測地点における測温方法
Method of temperature measurement.

Observation point*1)	Observation time	Depth of water (m)	Method
Nakaumi	Daily mean*3)	7	Auto-temperature recorder*4)
Izuhara	10：00	10	Water sampling
Saigō	10：00	3	Water sampling
Toyodako	9：00	20	Auto-temperature recorder*5)
Aio	9：00	3	Water sampling
Hagi*2)	9：00	95	Water sampling*6)

*1) Observing office at each point
Nakaumi ：Izumo Construction Office, Chūgoku Regional Construction Bureau
Izuhara ：Izuhara Weather Station, Meteorological Agency
Saigō ：Saigō Weather Station, Meteorological Agency
Toyodako ：Yamaguchi Prefectural Dam Management Office of the Koya River
Aio ：Yamaguchi Prefectural Naikai Fisheries Experimental Station
Hagi ：Yamaguchi Prefectural Open-Sea Fisheries Experimental Station
*2) Fifteen nautical miles off in the direction of NNW of Hagi City
*3) Mean of 24 records measured every an hour
*4) Sensor set 1m below the surface
*5) Sensor set 2m below the surface
*6) Entrusting to ferry company

れ境測候所，西郷測候所の日平均気温を用いた．水温変動と気温変動の対応を考える場合についても水温の場合と同様，数日単位での変動に着目して解析を行った．

最後に水温変動と高気圧，低気圧の移動との関連性を考察するため，水温が急激に変動している期間一特に急低下が認められる期間一について日本気象協会発行の午前6時の日刊天気図[4] から気圧配置を調べた．

また水温，気温，気圧変動に存在する周期性を明確にするため，厳原の4月～6月の資料を用いて MEM 法によるスペクトル解析を行い，水温，気温変動と気圧変動との関係について若干の考察を試みた．気圧資料は厳原の午前9時の海面気圧値を用いた．スペクトル解析は日野[5] のプログラムを BASIC に変換して行った．

結　果

1．萩で認められた水温の急上昇，急低下

萩の水温変動を Fig. 2 に示す．Fig. 2 で矢印 a～d は水温の急上昇，急低下が認められた期間を示す．

期間 a （4月20日～27日）：4月1日から23日までは13.8℃～14.3℃の範囲にありほぼ一定であるがそれ以降大きく上昇する．すなわち23日から24日に1.0℃，26日から27日に0.6℃上昇し，23日に14.2℃であるのが27日には16.0℃となる．

期間 b （5月7日～14日）：この期間には最も著しい変動が認められた．5月7日以降上昇し，特に10日から11日に1.1℃，12日から13日に0.7℃上昇している．その結果，5月7日に16.2℃である水温は13日には19.0℃に達する．しかし14日には17.5℃と大きく低下する．

期間 c （5月27日～6月3日）：5月14日以降，再び水温は上昇していき5月28日に20.5℃となる．30日に一時低下するが31日には21.0℃となる．だが6月になると1日は20.5℃，2日は19.0℃と低下していく．

期間 d （6月4日～15日）：6月4日まで19.0℃であるが5日には20.0℃と1.0℃上昇する．そして6日から7日に1.0℃，10日から11日に1.7℃と段階的に大きく上昇していき12日には22.8℃に達する．しかしそれ以降低下に転じ，13日には22.0℃，そして16日には21.0℃となる．

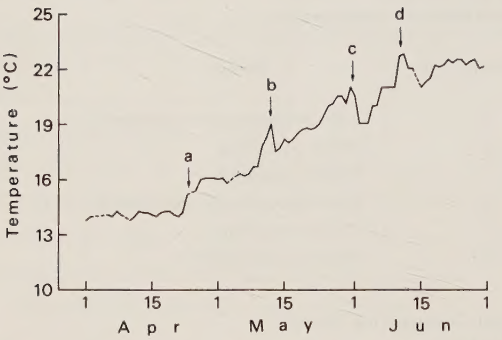


Fig. 2. 1982年4月—6月における萩での水温変動　破線は欠測を示す　矢印は水温の急上昇，急低下が認められた期間を示す
Fluctuation of water temperature at Hagi, April–June, 1982. Broken lines show nonobserved period. Arrows show the period when sudden rise and fall occurred in water temperature.

小川[1]は同じくフェリー会社の観測による日別水温記録から水温前日差の絶対値を計算した．この絶対値について"平均値＋標準偏差"を求めたところ0.5℃となったので，0.5℃を超える変化は"急激な水温変化"であるとみなした．本報の期間a～dで見られた変動にはいずれも水温の前日差の絶対値が0.5℃を大きく超える場合が含まれており，これらの水温の急上昇，急低下は統計的にも急激な変動と言うことができる．

2. 各地点の水温変動

各地点の水温変動をFig. 3に示す．Fig. 3で矢印a～dは萩で水温の急上昇・急低下が認められた期間を示す．aからdの各期間における水温の前日差を，Table 2に示す．各期間について水温変動の特徴を述

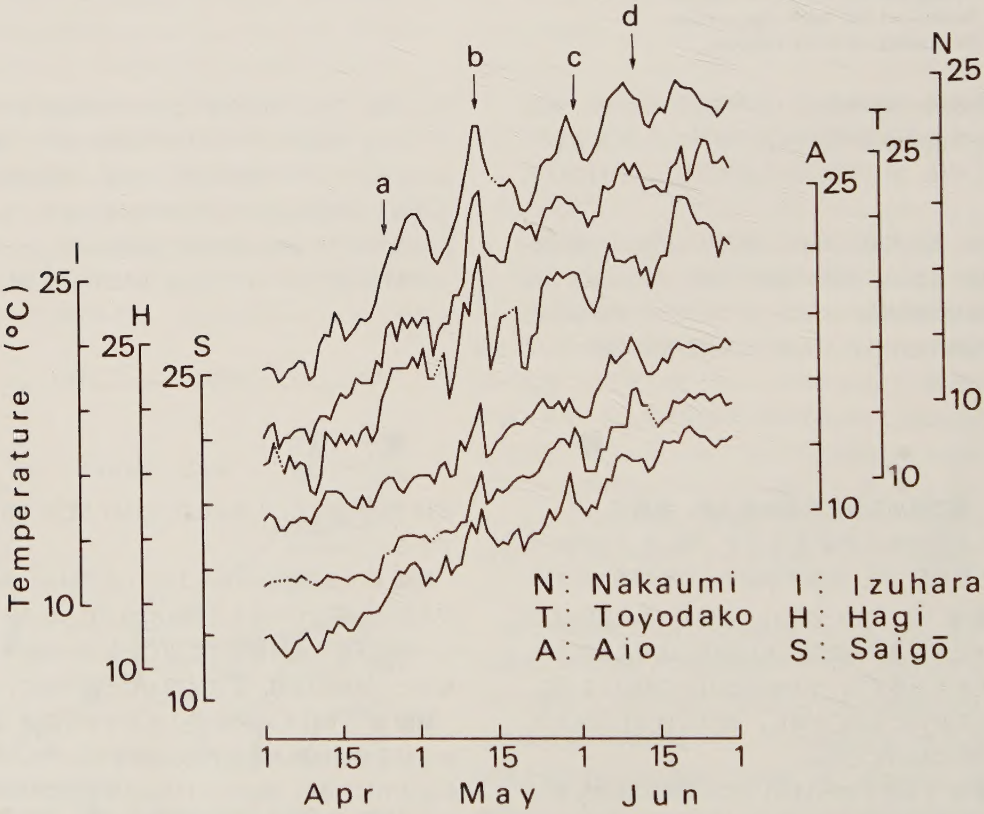


Fig. 3. 1982年4月—6月における各地点の水温変動　矢印は萩で水温の急上昇，急低下が認められた期間を示す　点線は欠測を示す
Fluctuations of water temperature in each observation point, April–June, 1982. Arrows show the period when sudden rise and fall in water temperature occurred at Hagi.

Table 2. 1982年における各地点での水温の前日差（℃）
Different value of water temperature (℃) from previous day at each observation point, 1982.

a) April 20—April 27

Date (April)	20—21	21—22	22—23	23—24	24—25	25—26	26—27
Nakaumi	−0.1	0.2	0.7	1.1	0.7	0.7	−0.1
Toyodako	0.0	0.0	1.0	−0.3	1.8	0.3	−0.9
Aio	0.2	−0.7	0.5	1.5	0.6	0.8	0.0
Izuhara	−0.5	0.0	0.6	0.5	0.2	0.0	−0.5
Hagi	−0.2	−0.1	0.2	1.0	—	—	0.6
Saigō	0.0	0.0	0.1	0.4	0.4	0.6	0.4

b) May 7—May 14

Date (May)	7—8	8—9	9—10	10—11	11—12	12—13	13—14
Nakaumi	0.7	0.7	1.3	1.2	1.6	0.0	−1.5
Toyodako	1.3	0.0	0.6	2.9	1.0	0.3	−2.6
Aio	1.0	1.6	1.8	−0.6	1.9	0.9	−2.3
Izuhara	0.1	1.6	−0.5	0.7	0.7	0.8	−2.5
Hagi	0.1	0.4	0.0	1.1	0.5	0.7	−1.5
Saigō	0.4	0.1	1.2	0.7	−0.5	1.1	−1.0

c) May 27—June 3

Date (May-June)	27—28	28—29	29—30	30—31	31—1	1—2	2—3
Nakaumi	0.3	1.0	0.7	−0.7	−0.5	−0.8	−0.1
Toyodako	0.5	0.0	−0.3	0.0	−0.4	0.0	−0.7
Aio	0.4	−0.3	0.2	0.1	−0.1	−0.9	−0.6
Izuhara	0.3	−0.5	0.6	−0.6	−0.2	−0.1	0.1
Hagi	0.4	0.0	−0.4	0.9	−0.5	−1.5	0.0
Saigō	0.4	0.8	1.0	−1.4	−0.2	−0.4	0.5

d) June 3—June 15

Date (June)	3—4	4—5	5—6	6—7	7—8	8—9	9—10
Nakaumi	0.4	0.5	0.9	1.0	0.3	0.2	0.3
Toyodako	0.5	0.0	1.4	−0.2	0.2	0.8	0.2
Aio	−0.3	0.7	1.6	0.9	−0.8	0.0	−0.1
Izuhara	1.0	0.4	0.4	1.0	−0.4	0.3	0.2
Hagi	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
Saigō	−0.2	0.8	0.6	−0.1	1.0	0.2	−0.1

	10—11	11—12	12—13	13—14	14—15
Nakaumi	−0.4	−0.3	−0.1	−1.1	−0.2
Toyodako	−0.5	0.5	−0.5	−0.7	0.1
Aio	0.2	0.1	−0.9	0.4	−1.0
Izuhara	0.7	−0.5	−0.6	−0.6	0.0
Hagi	1.7	0.1	−0.8	0.0	—
Saigō	−0.2	0.0	0.1	−0.6	0.2

べる．

期間 a：萩では23日以降急上昇しているが他の各地点でも22日から23日を境として水温が大きく上昇している．中海では22日から26日の4日間で 3.2℃，豊田湖では22日から26日の4日間で 2.8℃，秋穂では22日から26日の4日間で 3.4℃，厳原では22日から25日の3日間で 1.3℃，萩では23日から27日の4日間で 1.8℃，西郷では23日から27日の4日間で 1.8℃上昇している．急上昇の前後における水温についてみると，閉鎖的な条件下にある中海，豊田湖，秋穂では13.2℃～14.5℃（22日）から16.6℃～17.3℃（26日）に上昇しており，日本海沿岸域の厳原，萩，西郷では14.0℃～14.5℃（22日）から15.3℃～16.0℃（27日）に上昇している．急上昇の前後の水温に関して，特に日本海沿岸では厳原から西郷まで急上昇前だけでなく急上昇後もほぼ同水温を示している．

期間 b：この期間では萩だけでなく他の5地点でも著しい水温変動が認められる．各地点とも7日頃から急上昇していき13日にはピークに達する．5月7日から13日の6日間に中海，豊田湖，秋穂，厳原，萩および西郷で各々5.5，6.1，6.6，3.4，2.8，3.0℃上昇して中海，豊田湖，秋穂では15.2℃～17.3℃（7日）から21.8℃～23.3℃（13日），厳原，萩，西郷では15.7℃～16.2℃（7日）から18.7℃～19.2℃（13日）に達し，期間 a の場合と同様に日本海沿岸では急上昇前だけでなく急上昇後の水温が3地点ともほぼ同じになっ

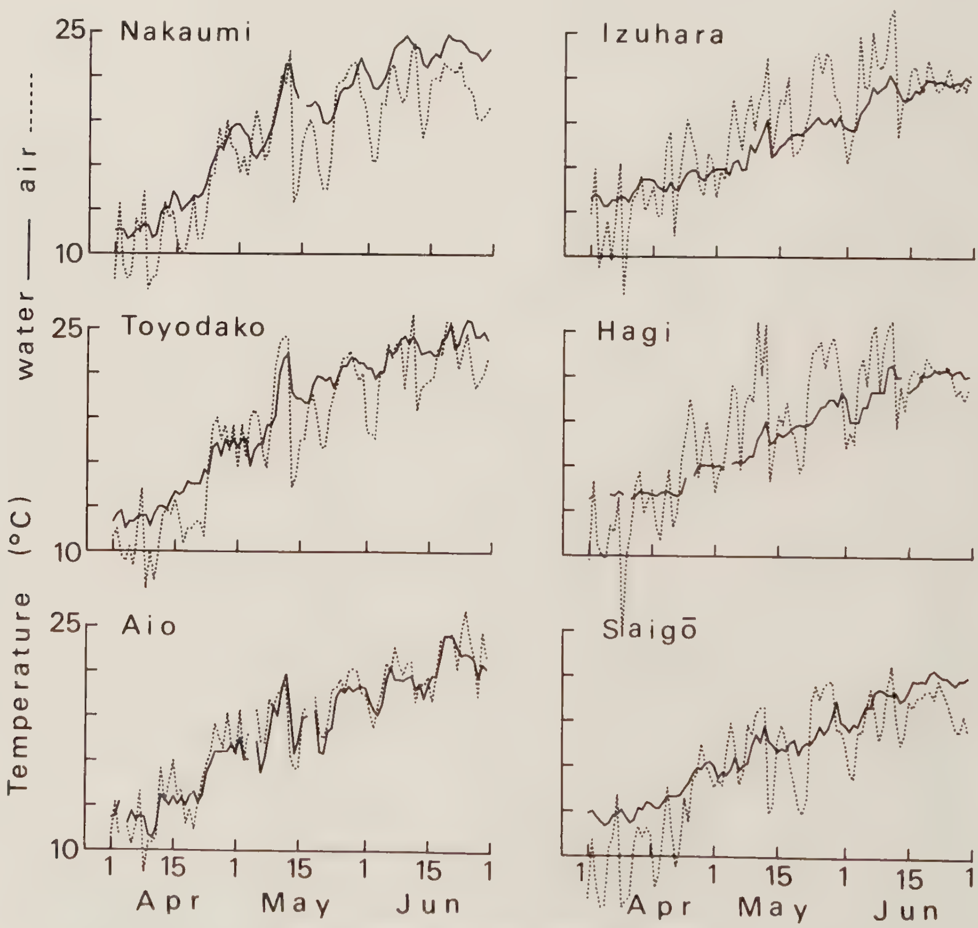


Fig. 4. 1982年4月－6月における各地点の水温変動と気温変動　欠線部は欠測を示す
Fluctuations of water temperature and air temperature in each observation point, April–June, 1982.

ている．しかし13日から14日にかけて各地点とも1.5，2.6，2.3，2.5，1.5，1.0℃と急激に低下しており，広範囲にわたり全く同時に水温の急低下が起こっている．

期間 c：萩では31日を境に低下しているが他の5地点に関しても豊田湖で29日，中海，厳原，西郷で30日，秋穂では31日と各地点とも30日前後を境として水温の低下が見られる．中海では30日から2日の3日間で2.0℃，豊田湖では29日から3日の5日間で1.4℃，秋穂では31日から4日の4日間で，1.9℃，厳原では30日から2日の3日間で0.9℃，萩は31日から2日の2日間で2.0℃，西郷では30日から2日の3日間で2.0℃低下している．しかし地理的に近い中海，西郷では28日から30日にかけて大きく上昇しているが他地点ではむしろ低下している場合が多い．また中海，厳原，西郷では30日から31日にかけて急低下しているが萩では逆に上昇している．このように期間cではほぼ同時に水温低下が認められるものの，地点間で変動の様子に相違が認められる．

期間 d：萩を含めて6地点とも6月4日から7日を中心に急激な上昇が認められる．中海では3日から7日の4日間で2.8℃，豊田湖では3日から6日の3日間で1.9℃，秋穂では4日から7日の3日間で3.2℃，厳原では3日から7日の4日間で2.8℃，萩では4日から7日の3日間で2.0℃，西郷では4日から8日の4日間で2.3℃上昇している．その結果，中海，豊田湖，秋穂では19.1℃～21.6℃（3日）から22.3℃～23.9℃（7日），厳原，萩，西郷では18.6℃～19.0℃（3日）から3地点とも21.0℃（8日）に上昇しており，今回も日本海沿岸の3地点では急上昇前だけでなく急上昇後もほぼ同水温に達している．8日から12日にかけては地点間で変動の様子がかなり異なっているが，12日から13日，そしてそれ以降大きく低下する．中海では13日から14日に1.1℃，豊田湖では12日から

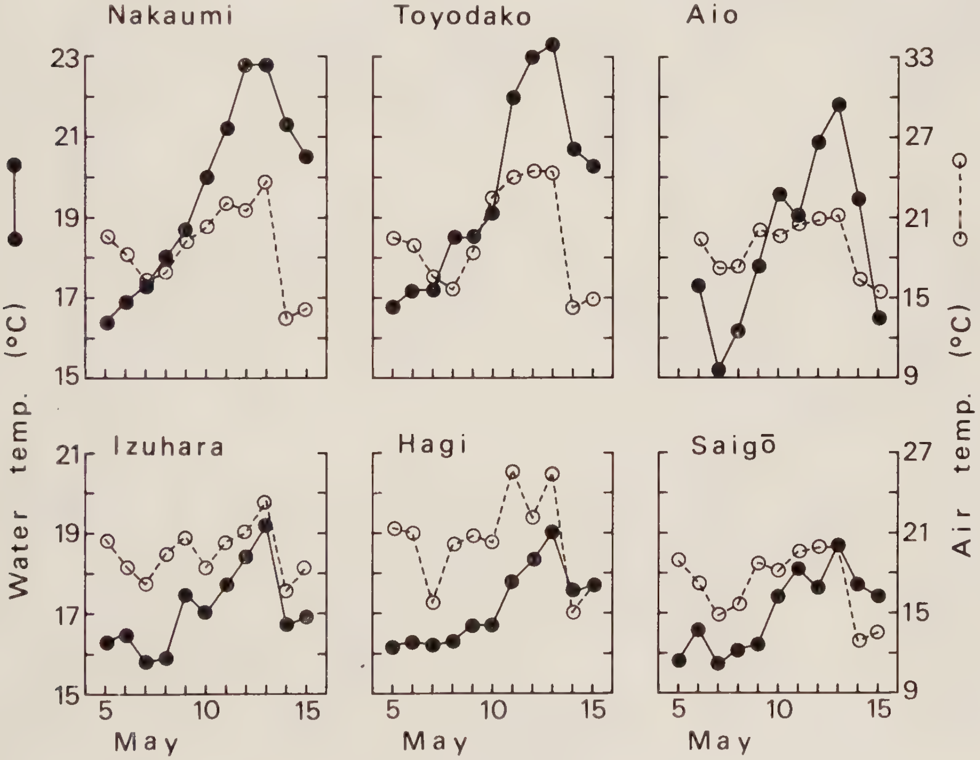


Fig. 5. 1982年5月5日―15日における各地点の水温変動と気温変動　左縦軸は水温，右縦軸は気温を示す
Fluctuations of water temperature and air temperature, May 5 15, 1982. Left and right vertical axses in each column show water temperature and air temperature, respectively.

Table 3. 1982年における各地点での気温の前日差（℃）
Different value of air temperature (℃) from previous day at each observation point, 1982.

a) April 20—April 27

Date (April)	20—21	21—22	22 −23	23 −24	24—25	25—26	26—27
Nakaumi	−2.8	0.0	1.5	2.7	0.2	3.1	−1.6
Toyodako	0.5	0.0	−1.0	4.5	3.0	0.5	−1.5
Aio	−1.4	1.8	1.5	1.1	0.7	2.0	−1.0
Izuhara	−7.0	3.7	1.9	2.2	−1.1	−1.2	−2.3
Hagi	−3.9	0.9	3.7	1.7	2.3	−1.7	−3.5
Saigō	−2.9	−2.4	1.3	3.3	−1.6	2.8	0.4

b) May 7—May 14

Date (May)	7—8	8—9	9—10	10—11	11—12	12—13	13—14
Nakaumi	0.6	2.3	1.1	1.8	−0.6	2.2	−10.2
Toyodako	−1.0	2.9	4.1	1.4	0.5	−0.1	−10.1
Aio	0.0	2.9	−0.5	0.9	0.3	0.4	− 4.8
Izuhara	2.3	1.3	−2.3	1.9	0.7	2.3	− 6.7
Hagi	4.3	0.7	−0.5	5.4	−3.6	3.4	−10.5
Saigō	0.8	3.2	−0.7	1.5	0.3	0.1	− 7.1

c) May 27—June 3

Date (May June)	27—28	28—29	29—30	30—31	31—1	1—2	2—3
Nakaumi	0.4	0.0	−2.4	−0.1	−2.1	−2.1	0.2
Toyodako	0.5	−1.2	−0.8	0.5	−4.0	0.0	−0.4
Aio	1.4	0.1	−0.2	−1.4	−0.1	−1.2	−1.1
Izuhara	−0.4	−2.6	−0.2	−2.1	−2.1	1.4	1.4
Hagi	1.4	0.7	−1.5	−2.3	−3.7	1.1	−0.8
Saigō	0.3	0.0	−3.3	0.1	−1.0	−1.9	−0.4

d) June 3—June 15

Date (June)	3—4	4—5	5—6	6—7	7—8	8—9	9—10
Nakaumi	3.8	−0.1	2.4	0.3	−1.7	−0.9	0.5
Toyodako	4.4	0.0	2.0	−1.0	1.0	0.2	−3.2
Aio	1.5	1.1	1.8	−0.6	1.6	−1.1	−0.7
Izuhara	5.8	−3.6	0.1	3.7	−2.2	−0.3	0.6
Hagi	4.9	0.9	−1.9	3.3	0.8	−4.4	3.0
Saigō	3.2	−0.1	1.5	1.4	−1.5	−1.9	1.0

	10—11	11—12	12—13	13—14	14—15
Nakaumi	2.8	0.7	−4.0	−2.3	1.1
Toyodako	3.0	2.0	−6.5	1.5	0.3
Aio	0.8	0.1	−2.7	1.3	−0.2
Izuhara	2.8	0.7	−8.7	2.4	0.1
Hagi	1.2	0.5	−7.2	2.8	−1.7
Saigō	2.6	1.4	−3.6	−1.7	0.7

14日の2日間で1.2℃，秋穂では12日から13日に0.9℃，厳原では11日から14日の3日間で1.7℃，萩では12日から13日に0.8℃，西郷では13日から14日に0.6℃低下している．地点間で水温低下が始まる日時にずれがあるものの，12日から13日を中心として各地点とも急低下が見られる．

3. 各地点の気温変動

各地点の気温変動と水温変動を Fig. 4 に示す．特に著しい変動が見られた期間bについては Fig. 5 に示す．また期間aから期間dの各期間における気温の前日差を Table 3 に示す．各期間における気温変動の特徴および水温変動との対応を述べる．

期間 a：秋穂，厳原，萩では21日，中海，西郷では22日，豊田湖では23日を境として上昇が見られ各地点ともほぼ同時に気温が上昇している．中海では22日から26日の4日間に7.5℃，豊田湖では23日から26日の3日間に8.0℃，秋穂では21日から26日の5日間に7.1℃，厳原では21日から24日の3日間に7.8℃，萩では21日から25日の4日間に8.6℃，西郷では22日から26日の4日間に5.8℃上昇している．水温も22日～23日を境として急上昇しており水温，気温とも同時に上昇していたことがわかる．しかし厳原と萩について細かく見れば，両地点とも気温は25日以降低下しており水温も厳原では26日から27日に0.5℃低下しているが萩では逆に0.6℃上昇し両地点間に変動の差異が認められる．

期間 b：各地点とも7日～8日を境として上昇し，13日にピークに達する．5月7日から13日の6日間に中海，豊田湖，秋穂，厳原，萩および西郷で各々7.4，

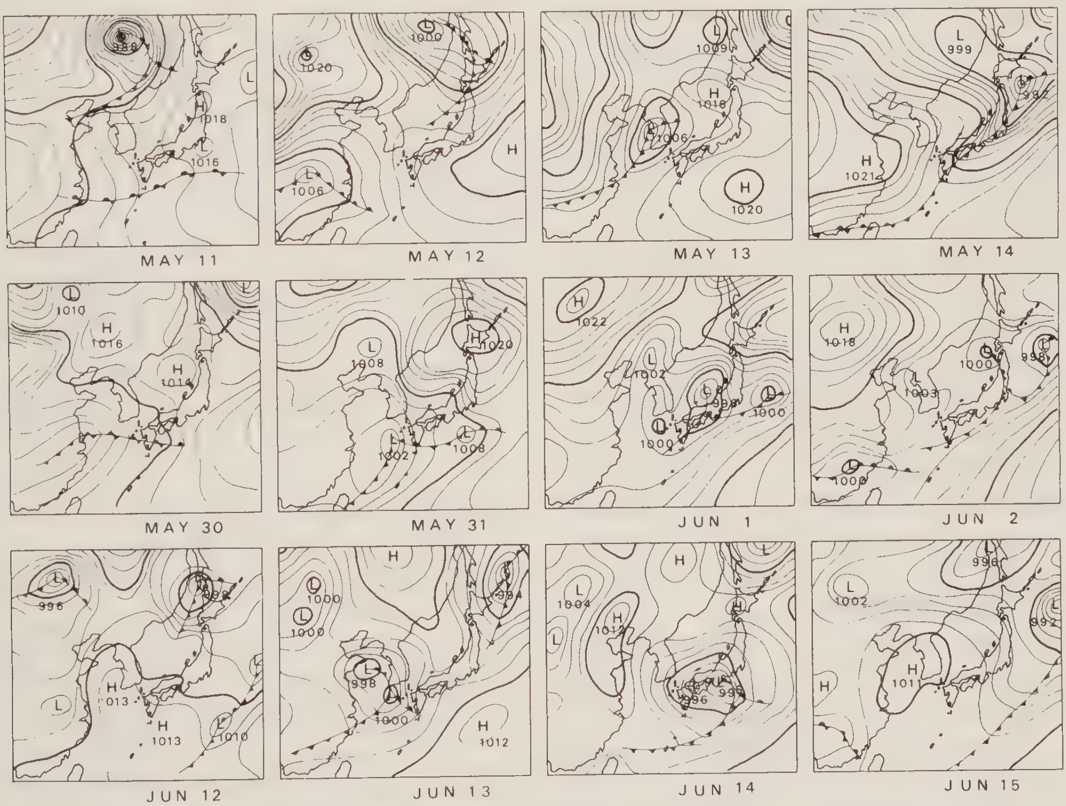


Fig. 6. 1982年5月11日—14日，5月30日—6月2日，6月12日—15日の日別気圧配置（日本気象協会[4]の日刊天気図を改変）

Distributions of atmospheric pressure, May 11—14, May 30—June 2 and June 12—15, 1982 (After weather map of Japan Weather Association[4]).

7.8，4.0，6.2，9.7，5.2℃上昇している．しかし13日から14日にかけて急低下が見られ，各々10.2，10.1，4.8，6.7，10.5，7.1℃低下している．したがって水温だけでなく気温も急激に変動しており，両者が非常によく対応していることがわかる．

期間 c：各地点とも5月20日頃より上昇していくが28日〜30日から6月初めにかけてかなり大きく低下している．中海では29日から2日の4日間に6.7℃，豊田湖では28日から3日の6日間に5.9℃，秋穂では29日から3日の5日間に4.0℃，厳原では28日から1日の4日間に7.0℃，萩では29日から1日の3日間に7.5℃，西郷では29日から3日の5日間に6.5℃低下している．水温も29日〜31日を境として低下しており時期的には両者は対応している．しかし中海，西郷では28日から30日にかけて水温は大きく上昇しているが気温は反対に低下している．また厳原では同期間気温が大きく低下しているのに対して水温はさほど大きく低下していない．以上のことから期間cでは細部において水温変動と気温変動が対応していない場合が見られる．

期間 d：各地点とも6月3日以降急激に上昇しており7日頃まで続く．中海では3日から7日の4日間に6.4℃，豊田湖では3日から6日の3日間に6.4℃，秋穂では3日から8日の5日間に5.4℃，厳原では3日から7日の4日間に6.0℃，萩では3日から8日の5日間に8.0℃，西郷では3日から7日の4日間に6.0℃上昇している．水温に関しても6月4日から7日を中心に急上昇が認められており水温変動と気温変動がよく対応している．一方，12日から13日にかけて全地点とも気温は急激に低下しているが水温も12日〜13日を境として大きく低下しており，両変動とも同時に低下していたことがわかる．

4. 水温変動と気圧変動

萩で水温の急低下が見られた5月11日〜5月14日，5月30日〜6月2日，6月12日〜15日の日別気圧配置を Fig. 6 に示す．

5月11日，12日には日本海南西沿岸は太平洋に中心を持つ高気圧に覆われている．しかし13日には低気圧が朝鮮半島にあり14日にかけて発達しながら日本海を通過している．5月30日に九州に前線があるが翌日になると前線上に低気圧が発生する．九州西方に発生した低気圧は発達しながら若狭沖に達している．6月12日には日本海南西沿岸は黄海および九州南方に中心を持つ高気圧に覆われているが13日になると朝鮮半島西岸に低気圧が接近する．そして14日にかけて対馬海狭を通過して太平洋沿岸に移動する．15日には高気圧が再び張り出す．

以上のことより萩で水温の急低下が生じた5月13日〜14日，5月31日〜6月2日，6月12日〜13日には，いずれも低気圧が日本海南西沿岸に接近・通過していたことがわかる．

厳原の水温，気温，気圧変動のスペクトルを Fig. 7 に示す．水温変動では45日周期にピークがあり，13日

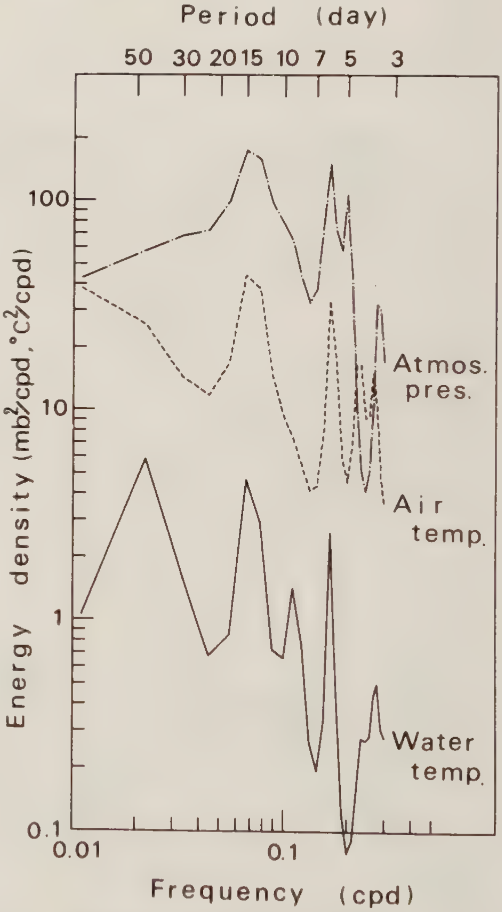


Fig. 7. 厳原における水温，気温，気圧変動のスペクトル
Spectra of fluctuations of water temperature, air temperature and atmospheric pressure at Izuhara.

〜15日周期および5日〜7日周期にもピークがある．気温，気圧変動では13日〜15日周期にピークがあり，5日〜7日周期に次のピークが現れる．したがって13日〜15日周期と5日〜7日周期は水温，気温，気圧変動に共通して認められる．

考　　察

萩で水温の急上昇が見られたa，b，dの3期間において他の5地点でもほぼ同時に急上昇が見られた．しかも厳原，萩，西郷の3地点について期間a，b，dの急上昇前の水温は各々14.0℃〜14.5℃，15.7℃〜16.2℃，18.6℃〜19.0℃の範囲にあり地点間の差は大きくないが，急上昇後の水温についても期間aで15.3℃〜16.0℃，期間bで18.7℃〜19.2℃，期間dでは3地点とも21.0℃と各期間とも地点間にほとんど差が認められない．一方，水温の急低下は萩では期間b，c，dで見られたが，期間c，dでは変動の様子が地点間で多少の相違はあるもののほぼ同時に水温が低下していた．また期間bでは萩において13日から14日にかけて最も著しい急低下を示したが，他地点も全く同時に急激な低下が見られた．水温の急上昇が同時に起こりしかも急上昇の前後の水温が日本海沿岸域では地点間に大きな差がないこと，そして水温の急低下がほぼ同時に生じているという事実は今回の水温の急上昇，急低下が水塊の交替−−暖水塊の通過−−という原因では説明できないことを意味している．

一方，各地点で水温の急上昇，急低下が見られた期間では，ほぼ同時に気温の急激な上昇，低下が認められ両変動がよく対応している．日本気象協会発行の日刊天気図によると5月7日から13日は一時的に夏型の気圧配置となり安定した好天が続いているが，13日から14日に低気圧が発達しながら日本海を通過している．また，水温の低下が見られた5月30日〜6月2日，6月12日〜15日についても低気圧が日本海を通過している．さらにスペクトル解析の結果では，水温，気温，気圧の各変動には13日〜15日周期と5日〜7日周期が共通して認められる．以上のことを総合して考えれば今回の水温の急上昇，急低下は気象の変化が原因と考える方が妥当であろう．

次に著しい変動が見られた5月7日〜14日の資料を用いて，気象の影響すなわち海面を通しての熱交換によって1日でどの程度水温が上昇するものか考察してみる．ここで水温の前日差を求めると非常に大きい上昇値が見られる場合がある．例えば5月9日〜12日の豊田湖における値を見ると9日から10日には0.6℃，11日から12日には1.0℃の上昇であるが10日から11日には2.9℃の上昇を示している．豊田湖においては暖水が湖の外部から流入する可能性はほとんどない．したがって上記の変化は9日から10日にかけては局地的な要因（例えば冷水が流入する）が作用して十分水温が上昇しなかったものの気象の影響であたためられた水が10日から11日にかけて交替し，そのために見かけ上，変化がより大きく現れたものと考えられる．しかしこのような場合についても水温の上昇の一次的な要因は気象であるといえる．そこで気象の影響による水温の上昇を考える場合には，変化が大きい場合よりもむしろ連日どれくらい変化しているのか，言い換えれば平均的に見て1日でどの程度上昇するのか，という点に注意を払うことが必要となる．するとTable 2より厳原では5月10日から13日にかけて連日0.7℃以上，萩では5月10日から11日，12日から13日に0.7℃以上，そして西郷でも5月9日から11日における2日間と12日から13日にかけて0.7℃以上上昇している．さらに上記3地点に比べて閉鎖的な条件下にある中海では5月9日から12日にかけて連日1.2℃以上上昇しており，豊田湖や秋穂でも1.0℃以上の上昇を示す場合が多くある．日本海沿岸域の厳原，萩，西郷で同時に0.7℃以上上昇していること，またこの3地点に比べて閉鎖的な条件下にある中海，豊田湖，秋穂ではそれ以上の上昇値を示すことから判断すると，沖合水の影響がかなり強い沿岸域においても気象条件が整えば表面水温は1日で0.7℃程度は上昇すると考えられる．

一方，13日から14日にかけて各地点とも急激に水温が低下している．この場合だけでなく，水温の急低下が認められた他の2つの場合にも低気圧が日本海を通過しており，低気圧の通過が原因で急激な水温低下が引き起こされたと考えられる．水温低下のメカニズムはそれを追求していくだけの資料が不十分であるため明確には断言できないが，海面を通しての熱交換だけ

でなく低気圧の通過に伴う海洋構造の変化による影響が大きいと考えられる．

このように春季における表面水温の変動には，気象の影響が強く作用していると言うことができる．したがって表面水温の観測資料を用いて水塊の移動（異水塊の流入）を考える際には，単に水温変動の大きさだけで判断することは不十分であり，変動要因について十分考慮することが不可欠である．

これまでの結果から筆者らは各地点で見られた水温の急上昇は気象の影響に起因するものであろうと考えている．しかし各地点で水温の急上昇を引き起こした「熱」がどのように表面に加えられたかという問題は解決されていない．本文中では単に〝気象の影響〟としているが，その中でも日射の影響が大きいのか，あるいは伝導によるのかなど詳細な点には言及していない．本研究では現象の把握が中心であるが，今後熱収支の問題について数値計算を含めて取り組んでいくことは必要である．また表面水温の変動が，より下層の水温変動に対してどの程度影響を及ぼすのか今後の検討課題となろう．

スペクトル解析により水温，気温，気圧の各変動に13日〜15日周期と5日〜7日周期が認められたが，これが何に起因するのか不明である．これらの周期は他の年にも認められることが多く，その原因を追求していくことは春季の水温変動の機構を理解する上でも重要である．また，春季は多くの魚類の産卵期・生育期であるが，この時期における気象の変化が海洋構造の変化を通して魚卵・稚仔の生育に大きな影響を及ぼしていると思われる．この問題についても今後調査を進めていきたい．

要　約

1982年4月〜6月に山口県萩で認められた水温の急上昇，急低下の原因を明らかにするため，複数の地点（中海，豊田湖，秋穂，厳原，萩，西郷）で観測された水温値を比較，検討した結果，次のような知見が得られた．

1．水温の急上昇，急低下は萩だけでなく他の各地点でも同時に認められた．また各地点での水温変動と気温変動はよく対応しており，両者は高気圧，低気圧の移動と密接に関係していた．したがって今回認められた水温の急上昇，急低下は気象の変化に起因すると思われる．

2．厳原，萩および西郷のようなかなり沖合水の影響が強い場所であっても気象条件が整えば表面水温は1日で0.7℃程度は上昇する可能性がある．

3．スペクトル解析の結果，水温，気温，気圧の各変動には13日〜15日周期と5日〜7日周期が卓越していた．水温，気温，気圧変動に認められた周期の原因を解明するとともに，これらの変動が生物に対してどのような影響を及ぼしているのか，今後調査を進める必要があろう．

文　献

1）小川嘉彦　1981：日本海南西沿岸水域の海況特性とその漁業生物学的意義．山口県外海水産試験場研究報告，**18**，1—96．

2）三井田恒博・大内康敬・吉田久典　1975：生物資源の輸送機構としての対馬暖流域の動態に関する研究（Ⅰ）課題の設定について．福岡県福岡水産試験場研究業務報告　昭和48年度，36—39．

3）Tawara, S. and Fujiwara, T.　1985：Sea surface temperature distribution and its variability across the Tsushima Strait. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 41, 49-55.

4）日本気象協会　1982：日刊天気図．財団法人　日本気象協会下関支部，プリント．

5）日野幹雄　1982：スペクトル解析．第1版，300 pp.，朝倉書店，東京．

Turbid Water Area in the East China Sea

Katsuhisa TANAKA*, Shiroh UNO*, Wataru SAKAMOTO**
and Akihiko SHIROTA***

Distribution of suspended matter and its chemical composition were investigated in the East China Sea, in three different seasons. Along the 31°30′N line, higher values of turbidity were consistently observed in the coastal area west of 123°E and in the central part of northern East China Sea (124°30′E–126°E). Turbid water was restricted below the seasonal thermocline in July, in which inorganic matter (mainly clay particles) was the major constituent. In November and April, suspended matter in the shallow part of the Continental Shelf was mixed vertically, and a front of turbidity was formed at 126°E–127°E. The turbid area in the northern East China Sea (south-west of Cheju Island) is located in an area of very fine bottom sediment. The suspended and bottom sediment in this area were supposed to be enclosed by a cyclonic eddy. A belt of low turbidity on the surface water of the Kuroshio Branch was observed in the Chinese coastal area.

Large rivers in China, such as the Yangtze River carry large quantities of suspended matter into the East China Sea[1], and then it makes a turbid water area along the Chinese coast[2]. Recently, distributions of suspended matter and its transportation were investigated in the offshore area of the Yangtze River[3] and on the relatively shallower part of the Continental Shelf[4]. However, the large-scale distribution of the suspended matter in the East China Sea and its seasonal change were not known well.

In the present study, we describe 1) spatial change of the turbidity or suspended matter distribution in the three different seasons 2) organic carbon content in the suspended matter in the East China Sea, especially on the 31°30′N line transection.

This work was partially financed by the Science and Technology Agency as a part of the Kuroshio Exploitation and Utilization Research (KER) programme.

昭和62年1月9日受理 (Recieved January 9, 1987)
西海区水産研究所業績第430号 (Contributions from the Seikai Regional Fisheries Research Laboratory, No. 430)
*Seikai Regional Fisheries Research Laboratory, Kokubu-machi, Nagasaki 850, Japan (田中勝久・宇野史郎，西海区水産研究所 〒850 長崎市国分町49)
**Faculty of Agriculture, Kyoto University, Kyoto 606, Japan (坂本亘，京都大学農学部 〒606 京都市左京区北白川追分町)
***Present address: Nansei Regional Fisheries Research Laboratory, Ōno-chō, Hiroshima-ken 739-04, Japan (代田昭彦，南西海区水産研究所 〒739-04 広島県佐伯郡大野町)

Method

The oceanographic observations of the East China Sea were done three times by R. V. Yoko Maru. The first cruise was in July 1980, and the second in November 1983. In these two cruises observation points were on the 31°30′N line from 123°E to 127°E. The third cruise was in April 1984 on the 31°30′N line and southern area of this line. The locations of the survey points discussed in this paper are shown in Fig. 1.

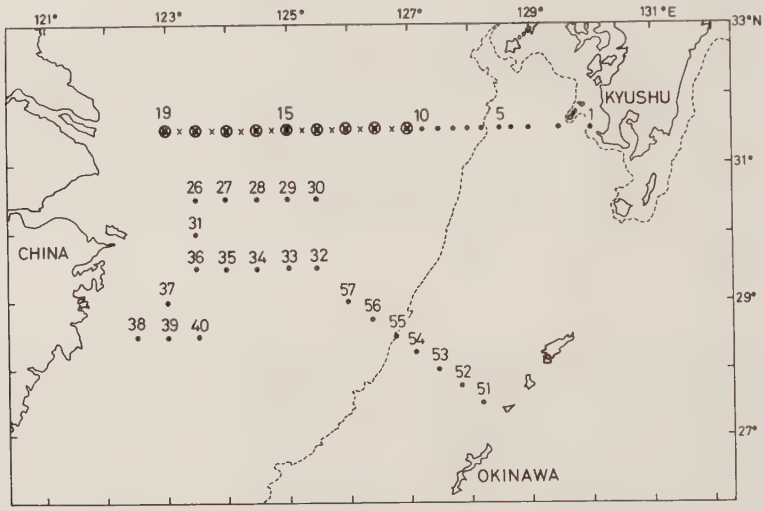


Fig. 1. Positions of observations and sampling stations in the East China Sea; Open circles in July 1980, crosses in November 1983 and small points in April 1984.

In the first cruise, water samples were taken by 10 l Niskin bottles and then passed through 265 μm mesh (GG54) net to remove large size zooplankton. 2–5 l of the water was passed through a pair of Wattman GF/C filters settled on a funnel to measure particulate organic carbon (POC), and through a preweighed single filter to determine dry weight of total suspended matter (TSM). GF/C filters described above were precombusted for 2 hours at 500℃. The samples were stored in a deep freezer at −20℃ in the dark prior to analyses.

In the laboratory, the filters for POC measurement were preliminarily dried at 60℃ for 12 hours. Then they were settled in a desiccator with concentrated hydrochloric acid to remove carbonate carbon. Each of the two layered filters was analyzed separately. The value of the second filter was substracted from the top filter value as a filter blank[5]. POC was measured by dry combustion method at 880℃ with a CHN analyzer (Yanagimoto CHN Corder MT-2). The presumed ac-

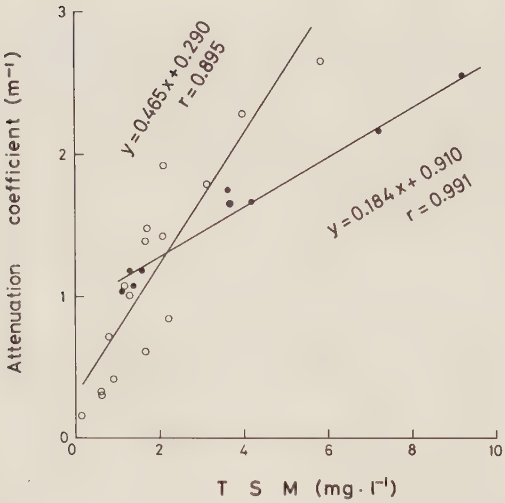


Fig. 2. Relations between beam attenuation coefficient α (m^{-1}) and dry weight of total suspended matter ($mg \cdot l^{-1}$) ; Open circles with XMS transmissometer and solid circles with NPL 2.

curacy of POC, determined by the maximum deviation among the triplicate samples of the study area, were $\pm 9.1\,\mu g \cdot l^{-1}$ [6].

In the second and third cruise, the turbidity was measured by two kinds of beam attenuation meters. The first is by NPL-2 (NDK Co., Ltd.), which has 0.5 m pass length and centroidal wavelength at 677 nm. The other is by XMS transmissometer (Martek Instruments Inc.), which has 1 m path length and centroidal wavelength at 486 nm. On both apparatus, beam attenuation coefficient as α (m^{-1}) versus TSM ($mg \cdot l^{-1}$) was initially confirmed to be related in each straight line (Fig. 2).

Results and discussion

1. Cruise in July 1980

Vertical distribution of temperature, salinity, dry weight of total suspended matter (TSM), POC and the ratio of POC/TSM along the 31°30′N line in July 1980 are shown in Fig. 3. A seasonal thermocline is found at about 10 m depth and the water of higher salinity (S>32‰) lies below the thermocline. Above the thermocline west of 125°E, the POC/TSM values were higher than 0.3 suggesting the predominance of organic particles.

At 125°E and 123°E, higher values of TSM were observed below the thermocline where TSM exceed $5\,mg \cdot l^{-1}$ and the POC/TSM was lower than 0.03 at the bottom water. Such higher concentration of suspended matter in the bottom layer of the Continental Coastal Water was also observed by ASAOKA[7] and MATSUIKE *et al.*[3]

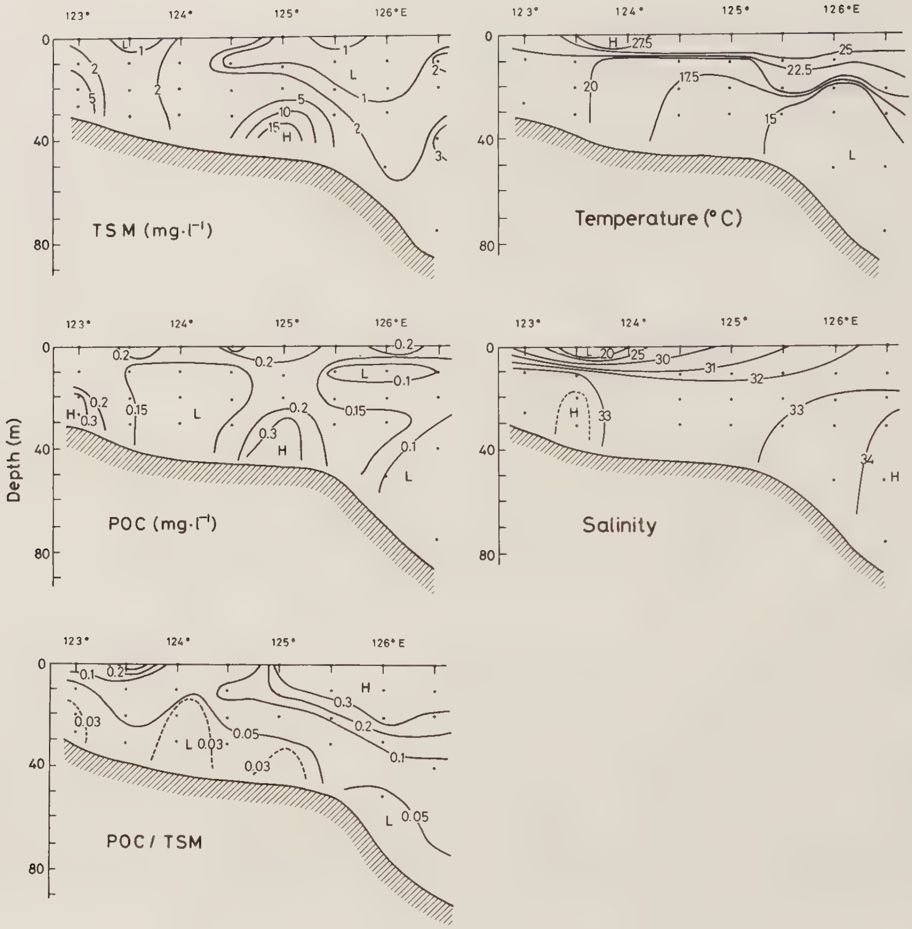


Fig. 3. Latitudinal sections of water parameters along 31°30′N line in July 1980.

The low POC/TSM ratio observed below the thermocline shows the predominance of inorganic particles, especially near the bottom of the Continental Shelf. In general, the mass of particulate organic matter (POM) is estimated by doubling the value of POC[8]. Then the fraction of inorganic materials would reach more than 90 % of total suspended matter near the bottom. These results suggest that the increase of TSM value below the thermocline was caused by that of the clay particles. The predominance of the clay particles below thermocline was already recognized by microscopic observations[6].

Surface water of the lowest salinity (S<20‰) and of the highest temperature (T>27.5°C) was observed on the surface water at 123°30′E. This fresh water discharge corresponds to the plume-like structure observed in June 1980 by BEARDSLEY *et al.*[9]. The higher value of POC/TSM and lower value of TSM at the surface

water with considerably low salinity suggest that clay particles carried by the river are not probably transported with the water above the thermocline but are sedimented to the bottom water. However, below the thermocline, the values of TSM was low as compared to the other stations with slightly higher salinity (S>33.25‰). A large proportion of clay particles may be sedimented near the coast.

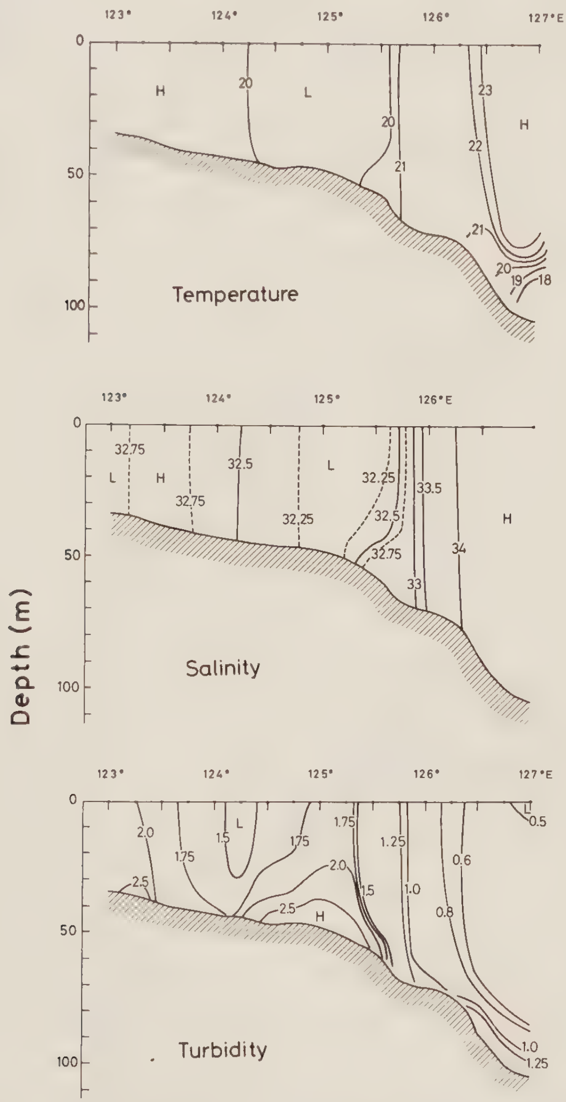


Fig. 4. Vertical distribution of temperature ℃ (upper), salinity ‰ (middle) and turbidity m^{-1} (lower) along 31°30′N line in November 1983.

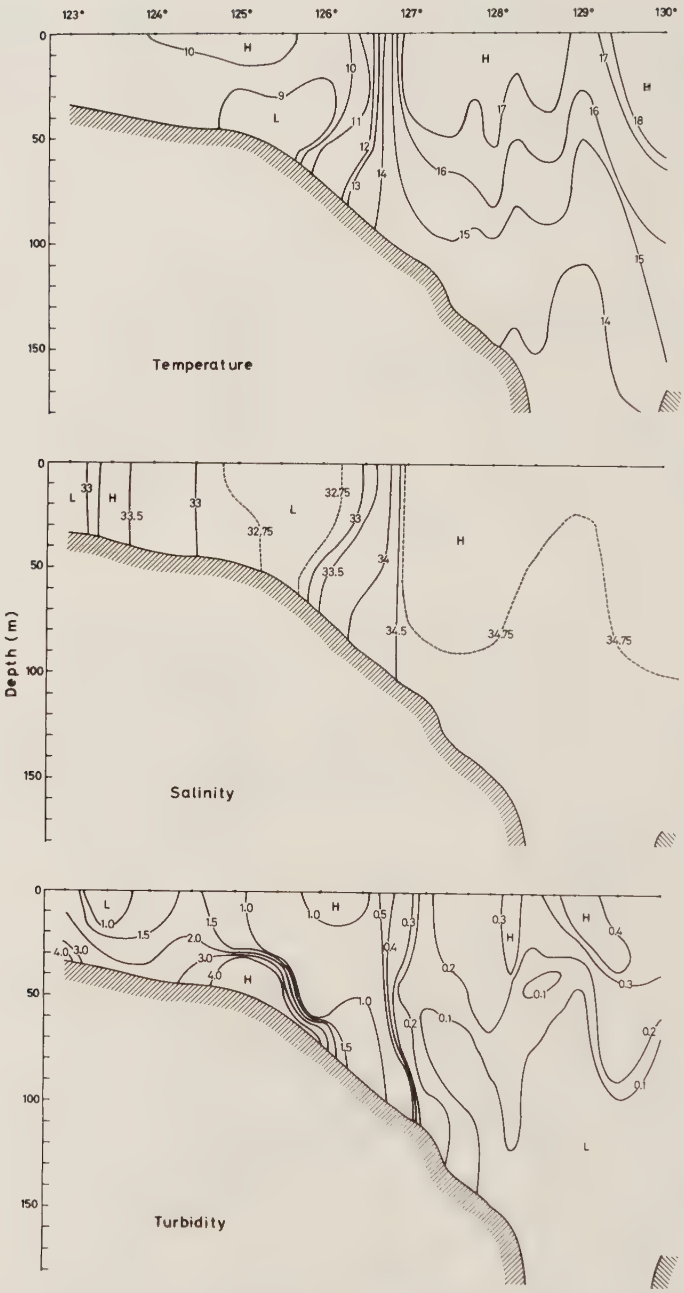


Fig. 5. Vertical distribution of temperature °C (upper), salinity ‰ (middle) and turbidity m^{-1} (lower) along 31°30′N line in April 1984.

2. Cruise in November 1983

Fig. 4, shows vertical distributions of temperature, salinity and turbidity in the line of 31°30′N in November 1983. Salinity and temperature stratification had almost disappeared by vertical mixing on the Continental Shelf, and a clear front between the Continental Coastal Water and the Tsushima Warm Current Water was observed between 125°30′E and 126°E judging from the vertical isohaloic lines. Across the front, the salinity in the surface water changed from 32.1‰ to 33.8‰.

Higher turbidity values in the bottom was found at two areas, and this tendency was similar to that of July 1980. However, the surface value at west of 126°E was rather higher than that in July 1980. The turbidity distribution on the surface also showed a front at about 126°E. Maximum salinity ($S>33.75$‰) associated with lower turbidity was again observed at 123°30′E.

3. Cruise in April 1984.

1) 31°30′N Section

Vertical distribution of water temperature and salinity in April 1984 show that the water is just in the transitional stage from vertical convection period to stable stratification period (Fig. 5). Stratification of water temperature was very weak and that of salinity was scarcely recognized on the Continental Coastal Water. This water formed a distinct front against the Tsushima Warm Current Water between 126°E and 127°E. Across the front, surface salinity, temperature and turbidity changed from 32.75‰ to 34.75‰, 10℃ to 17℃, and $1.0\,m^{-1}$ to $0.3\,m^{-1}$, respectively (Fig. 5).

Turbid water in the bottom was found between 124°30′E and 126°E and at 123°E, resembling the results of July 1980 and Nov. 1983. Moreover, lower turbidity water with higher salinity at 123°30′E was observed again. Bottom turbid water centered at 125°E, 31°30′N was consistently observed in our investigations on three different seasons.

In the Chinese coastal area west of 124°30′E, the turbidity decreased gradually upwards from the bottom, while vertical distribution of σ_t showed little change (Fig. 6). These observations suggest that the suspended matter in this region is mainly supplied from the bottom water by convection, influencing up to the water surface. On the other hand, there was a sharp gradient of turbidity in the central part of the East China Sea (124°30′E-126°E), coinciding with that of σ_t (Fig. 6). Below this picnocline, turbidity increased drastically on approaching the bottom. This phenomenon indicates that the mixing of the bottom turbid water with surface water was restricted by the picnocline, which was already observed by Matsuike *et al.*[3)] in the Chinese coastal region off the Yangtze River.

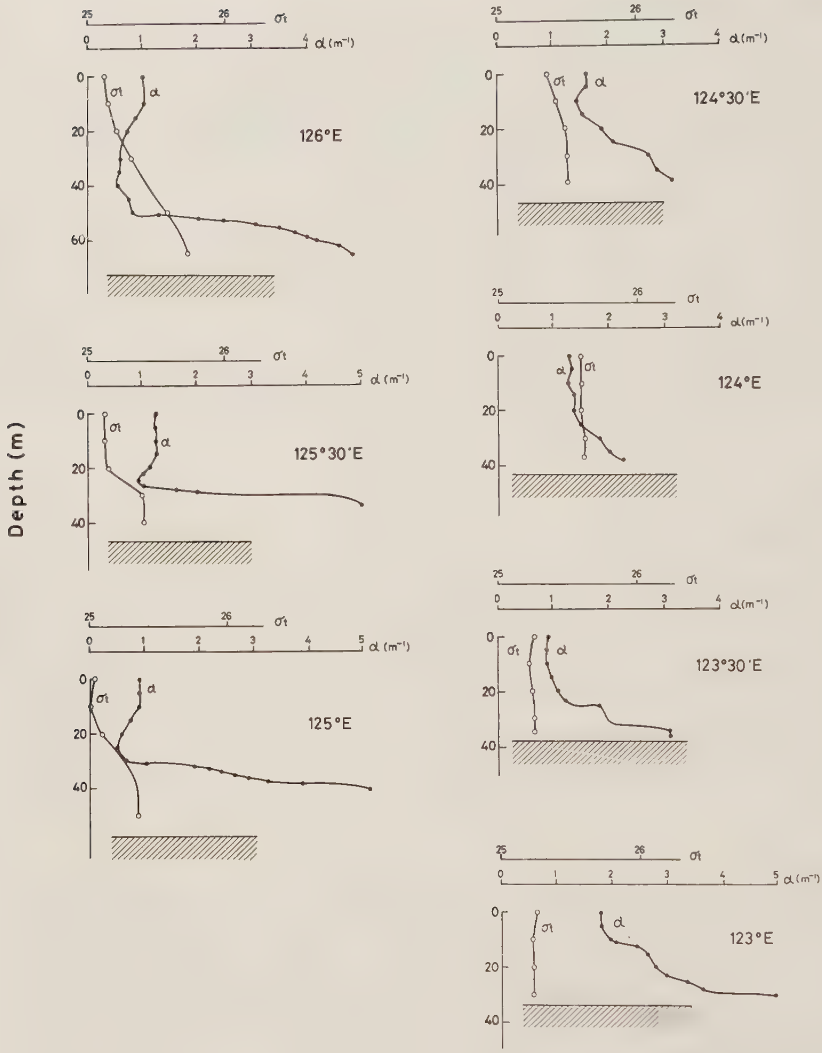


Fig. 6. Vertical distributon of turbidity (α) and σ_t at stations west of 126°E on 31°30′N line in April 1984.

2) Horizontal Distrinution

Horizontal distribution of salinity and turbidity on the surface and bottom water are shown in Fig. 7. In general, higher turbidity values were found in the bottom water and their distribution pattern was closely related to the current system and the features of bottom sediment.

There are three separate turbid water areas in the bottom water of lower salinity (S<33.5‰), namely south-west of Cheju Island (124°E-126°E, 30°30′N-31°30′N), off the south coast of China and off the Yangtze River mouth.

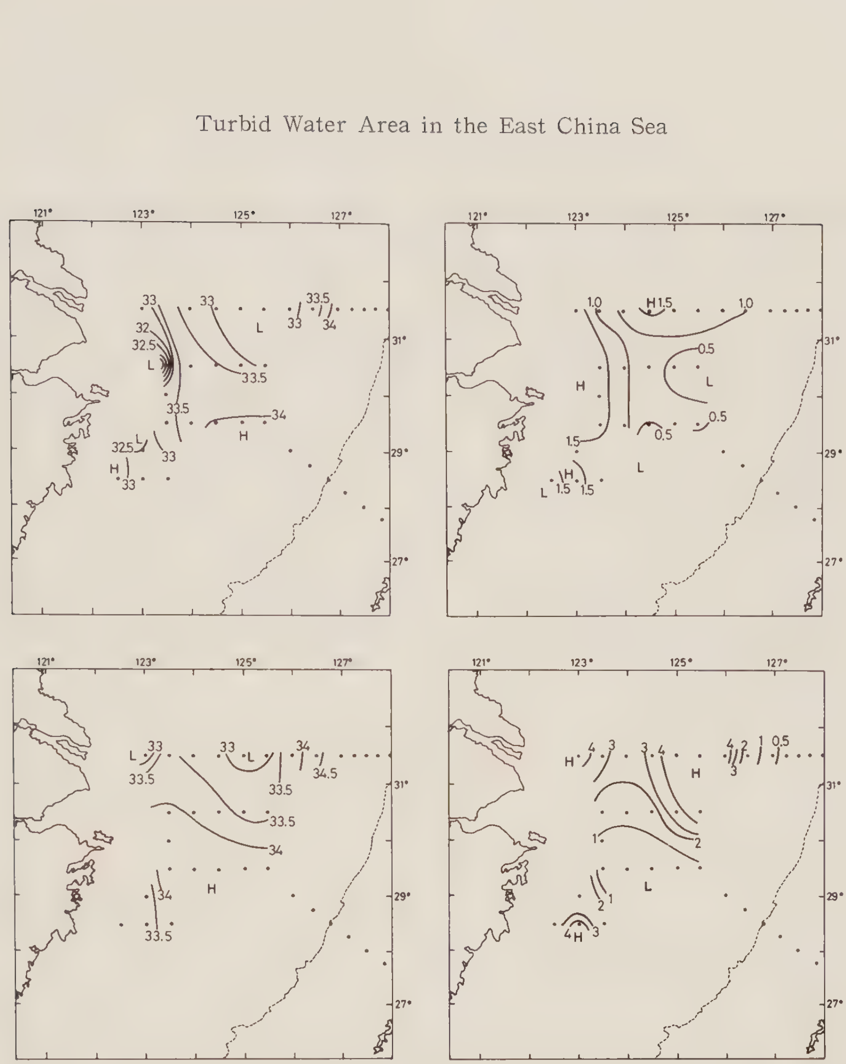


Fig. 7. Horizontal distribution of salinity ‰ (left) and turbidity m^{-1} (right) at the surface (upper) and bottom (lower) water in the East China Sea observed in April 1984.

In south-west of Cheju Island and off the south coast of China, the bottom sediments are mainly composed of fine mud or clay size particles[10,11]. In these regions, intense tidal current was measured near the bottom; up to $0.4\ m\cdot s^{-1}$ at 31°30′N, 125°40′E and up to $0.5\ m\cdot s^{-1}$ at 31°05′N, 123°50′E[12]. Further, a drastic change of turbidity was observed after vigorous wind at 31°30′N, 125°30′E (TANAKA *et al.* unpublished). The turbid water in these area can be postulated to be derived from the resuspension of the bottom sediments caused by strong wind or tidal current. On the other hand, the bottom sediment is covered by sand at the station off the Yangtze River mouth[10]. Suspended matter discharge from the Yangtze River may directly influence the turbidity in this region. INOUE[11] and ASAOKA and MORIYASU[13] suggested a counter-clockwise bottom current in the northern East China Sea. MAO *et al.*[14] pointed out the permanent existence of a cyclonic eddy centered at about 31°30′N, 125°30′E which correspond to the central position of the

turbid water in south-west of Cheju Island and that of the isolated mud sediment[11]. The suspended and bottom sediment may circulate and be enclosed in this current system.

The Kuroshio Branch (Taiwan Warm Current) was recognized by its higher salinity in the Chinese coastal area which flows from the east of Taiwan towards the north[15]. The bottom salinity south west of the study area was higher than 33.5‰ stretching north to 31°30′N at 123°30′E. This corresponds to surface high salinity ($S>33.5$‰) and low turbidity ($\alpha<1.0\,m^{-1}$), which was observed on the line from 31°30′N, 123°30′E to 30°30′N, 124°E. This clean belt off the coast of China was also reported by the observations with some satellite visible images[2]. The consistent existence of maximum salinity assaciated with lower turbidity at 31°30′N, 123°30′E on the previous two cruises may have been caused by the intrusion of this body of clean water of Kuroshio Branch.

References

1) HOLEMAN, J. N. 1968 : The sediment yield of major rivers of the world. *Water Resources Research*, **4**(4), 737–747.
2) MURAYAMA, N. 1980 : The distribution of floating soils in the East China Sea areas as observed by the GMS satellite. *Umi to Sora*, **55**, 183–192. (in Japanese with English abstract)
3) MATSUIKE, K., K. OKUDA and K. UEHARA 1983 : Turbidity distributions near oceanic fronts in the coastal region of the East China Sea. *La mer*, **21**, 133–144.
4) XIE Q., L, ZANG and F. ZHOU 1983 : Features and transportation of suspended matter over the continental shelf of the Changjiang Estuary. In "Proceedings of International Symposium on Sedimentation on the Continental Shelf with Special Reference to the East China Sea", ed. by Acta Oceanologica Sinica, pp. 370–381, China Ocean Press, Beijing, China, 952 pp.
5) ISEKI, K. 1981 : Vertical transport of particulate organic matter in the deep Bering Sea and Gulf of Alaska. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **35**, 91–99.
6) TANAKA, K. and A. SHIROTA 1983 : Suspended clay particles and aggregates in the Continental Coastal Water in the East China Sea. *Bull. Seikai Reg. Fish. Res. Lab.*, (60), 1–9. (in Japanese with English abstract)
7) ASAOKA, O. 1980 : Distribution of *Melosira sulcata* (EHRENBERG) KÜTZING, a diatom species in the seas west of Japan. *Oceanogr. Mag.*, **31**, 1–13.
8) RILEY, G. A. 1970 : Particulate organic matter in sea water. In "Advances in Marine Biology 8" (eds. Russell F. S. and M. Yonge), pp. 1–118. Academic Press, London and New York, 400pp.
9) BEARDSLEY, R. C., R. LIMEBURNER, H. DUNXIN, L. KENTANG, G. A. CANNON and D. J. PASHINSKI 1983 : Structure of the Changjiang River plume in the East China sea during June 1980. In "Proceedings of International Symposium on Sedimentation on the Continental Shelf

with Special Reference to the East China Sea” ed. by Acta Oceanologica Sinica, pp. 243-260, China Ocean Press, Beijing, China, 952 pp.

10) Hamada, H. and T. Mitsusio 1987 : Submarine geological classification of bottom sediments of the East China Sea and the Yellow Sea. *Bull. Seikai Reg. Fish. Res. Lab.*, (64), 25--34. (In Japanese with English abstract)

11) Inoue, N. 1975 : Bottom current on the continental shelf in the East China Sea. *Umi to Sora*, **51**, 5-12. (in Japanese with English abstract)

12) Yamashita, H. 1983 : Variations of temperature, salinity and osmotic pressure in the Central East China Sea. Short-period variation of these measurements in Summer, 1980. *Bull. Seikai Reg. Fish. Res. Lab.*, (60), 71-83. (in Japanese with English abstract)

13) Asaoka, O. and S. Moriyasu 1966 : On the circulation in the East China Sea and the Yellow Sea in winter (Preliminary report). *Oceanogr. Mag.*, **18**, 73-81.

14) Mao H., D. Hu, B. Zhao and Z. Ding 1983 : A cyclonic eddy in the northern East China Sea. In ”Rroceedings of International Symposium on Sedimentation on the Continental Shelf with Special Reference to the East China Sea” ed. by Acta Oceanologica Sinica, pp. 280-287, China Ocean Press, Beijing, China, 952 pp.

15) Weng X. and C. Wang 1984 : A preliminary study on the T-S characteristics and the origin of Taiwan Warm Current Water in summer. *Studia marina Sinica*, **21**, 113-132. (in Chinese with English abstract)

東シナ海における高濁度域

田中　勝久・宇野　史郎・坂本　亘・代田　昭彦

抄　　録

著者らは1980年7月，1983年11月，1984年4月の3回にわたり，東シナ海の北緯31°30′定線とその南方域において懸濁物の量的，質的な検討を行った．定線においては，東経123°以西の大陸沿岸寄りと，東経124°30′より126°までの東シナ海中央部の二ケ所に毎回高濁度域が認められた．後者は特に顕著であり，7月には水温躍層以下で，無機物粒子（粘土鉱物主体）によって構成される高濁度水が形成され，また4月と11月には鉛直混合により高濁度水の上層への輸送が認められ，清澄な水とのフロントが東経126°から127°において形成された．定線中央部の高濁度域は細かい底質域に当たり，この周辺域の懸濁物及び底泥は渦流によって滞留しているものと思われる．これらの高濁度域に対し，低濁度帯は大陸沿岸域の黒潮分派表層において認められた．

東シナ海・黄海域における堆積物の海底地質学的区分

浜　田　七　郎・満　塩　大　洸

Submarine Geological Classification of Bottom Sediments in the East China Sea and the Yellow Sea

Shichiro HAMADA* and Taikou MITSUSIO**

The authors collected sediments at 274 stations in the East China Sea and the Yellow Sea during the decades from 1951. This paper indicated distribution maps of some properties of the sediment and discussed the relations of size distribution to submarine topographical features. As a matter of convenience, the two sea areas mentioned above are divided into five regions for the sake of comparison.

In the Northern region, sediments were almost composed of mud which was yellowish and brownish in colour and had smaller grain size (Md $\phi > 4\phi$). Sediments in the Middle East and Middle West regions included four types; sand, muddy sand, sandy mud, and mud. The Middle West region was mainly covered with sand or muddy sand of blackish gray colour and whose Md ϕ was less than 3ϕ. In the Middle East region, composition of the sediment was dominated by mud of smaller grain size ($Md\phi > 4\phi$) and assumed a yellowish gray colour. This mud area was surrounded by muddy sand or sandy mud area. The mud of smaller grain size was also spread widely over the coastal part of the Southern West region. In the Southern East region, sand area occupied the largest part of the region, where the sediment was mainly composed of bigger grain size ($Md\phi < 3\phi$) tinged with yellowish gray. The area was also surrounded by muddy sand or sandy mud area.

Non-biotic granule in the Northern region and in the Middle East region, and shell debris in the Middle West region and in both Southern regions was the main component of the sediment.

昭和62年1月9日受理 (Recieved January 9, 1987)
西海区水産研究所業績第431号 (Contributions from the Seikai Regional Fisheries Research Laboratory, No. 431)
*西海区水産研究所　〒850長崎市国分町49 (Seikai Regional Fisheries Research Laboratory, Kokubu-machi, Nagasaki 850, Japan)
**高知大学理学部　〒780高知市朝倉1000 (Department of Geology, Kochi University, Asakura, Kochi 780, Japan)

は じ め に

東シナ海及び黄海は西部に長江（揚子江 Yangtze River）や黄河など大河川が流入し海深200m以浅の広い大陸棚によって占められ日本近海有数の底びき網漁業の好漁場になっている．この漁場における海洋環境の研究は非常に多いが，筆者らは本海域の底質特性について一連の研究を行ってきた．

生物と底質との関係の研究について見ると，次のような研究が知られている．例えば漁類の群集の研究により日本海の生成を論じた西村（1964 a, b）[1,2] によれば，日本海では太平洋と比較して魚類の分布は古いタイプの深海動物がほとんど欠如し，また，ハダカイワシ科は2種類，ソコダラ科は1種類のみというように，魚類相の構成からも地質的な環境が解明されるという．一方，海底堆積物は海況や海底地形などに影響されるので（満塩）[3,4] 底棲魚類は直接，間接に底質と密接な関係を持つことになる．実際に渤海・黄海域に生息するコウライエビ *Penaeus* (*Fenneropenaeus*) *chinansis*，エビジャコ *Crangon affinis* の回遊域は含泥率の高い海域であり，グチ類も泥質域を好む習性をもっている．一方，キダイ（レンコダイ）*Dentex tumifrons*，ムツ *Scombrops boops*，カイワリ（ヒラアジ）*Kaiwarinus equula* は東シナ海域の大陸棚縁辺の粗粒砂質の海域を生息の場としていることが明らかにされている（山田ほか）[5]．また，このことは以西底びき網漁業者の経験からもよく知られている．

筆者らは1951年いらい東シナ海，黄海域の底びき網漁場における海水及び底質の海洋化学的研究（浜田・浜田）[6~8] を行ってきたが，生物群集と底質との関係をより明らかにする見地から，本報では改めて堆積学的検討を加え取りまとめ報告する．

本報をまとめるにあたり，底質試料採取に多大のご協力を頂いた元長崎県水産試験場森勇技師，元同水試調査船沖永亀作船長及び西海区水産研究所の調査船陽光丸乗組員の方々，底質分析で絶えずご教示賜った長崎大学教育学部地質学教室鎌田泰彦教授，近藤寛教官に対し厚くお礼申し上げる．また，本稿の校閲を頂いた宮田和夫海洋部長並びに宇野史郎室長に感謝の意を表する．

方　　　法

1. 海底堆積物採取

本研究では1951年から1960年までに採取した274試料について解析・検討を加えた（図1）．

試料の採集は長崎海洋気象台，長崎県水産試験場及び西海区水産研究所の各調査の海洋観測又は漁場調査の際に丸川式並びに S. K 式採泥器で得られたものである．各試料は粒度測定のほか，化学分析に備えて採取後フォルマリン又はエチルアルコールで固定した．

2. 粒度及び組成分析

試料は108～110℃で約8時間乾燥し，恒量とする．これを30～50g秤量してビーカーにとり，これに水を注ぎ湿式法でふるい分けした．乾燥固化したものは温湯と過酸化水素水6％溶液100mlを注いで発泡が終るまで放置し，更に分散剤として蓚酸ナトリウム N/100 を 40ml 加え，粒子を分散させて前記の処理を行った．使用したふるいは初めの39試料は丸川式ふるいで粒度分析を行ったが，残りはタイラー型標準ふるいを使用した．ここで述べる試料は大部分が砂質泥であったためピペット法による粒度分析は採用していない．

組成分析は代表的な海域の試料について，各ふるい上に残留したものを顕微鏡で観察した．これを，まず生物起源と非生物起源に分け，前者を更に有孔虫類・石サンゴ類及び貝殻類に区分した．



Fig. 1. 東シナ海・黄海における底質採集点と等深度線（m）
Location of sampling stations in the East China Sea and the Yellow Sea with isodepth contours(m).

結果及び考察

1. 底質性状とその分布

本報では，ふるいで粒度分析した砂礫質堆積物について TRASK (1932) の方法を用い考察したが，泥質堆積物については誤差が大きくなるので，その方法での算出は行わなかった．また，粒径については中央粒径 Mdφ により KRUMBEIN and SLOSS (1958)[9] に従い，WENTWORTH の区分を用いた．この海域の底質について NIINO ら[10] は双眼顕微鏡観察から Total sediments として砂，砂泥，泥の3区分により説明されているが，本報では礫，砂，泥の三角ダイアグラム（図2）を用い，3者間関係に従う区分名称を与えて考察した．

図2に各測定における底質性状の示す地位をプロットして見ると，点Mからの垂線の右側部分に全測点が示される．すなわち，対象とする東シナ海・黄海海域の底質性状は，礫砂泥，礫質砂，砂，泥質砂，砂質泥，泥の6種類によって構成されていることが理解できる．

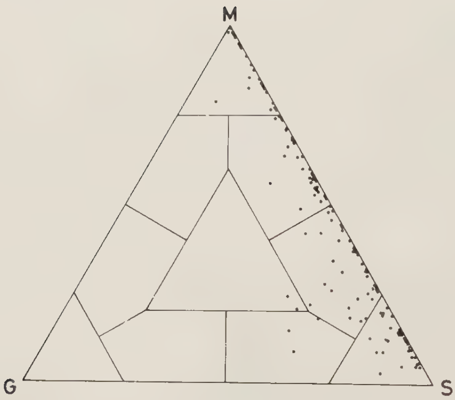


Fig. 2. 礫・砂・泥の三角図法によって示される底質分布
Distribution map of the bottom sediments in Trigonal diagram of gravel (G), sand (S) and mud (M).

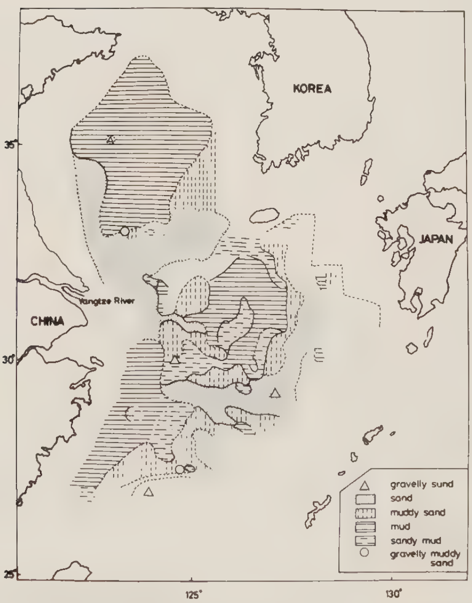


Fig. 3. 東シナ海・黄海の底質性状分布
Distribution map of the bottom sediments classified into six type in the East China Sea and the Yellow Sea

図3に6種底質性状の占める範囲を示した．同図から泥域の範囲は最も広く，次いで砂・泥質砂・砂質泥の順に狭くなり，礫質砂及び礫砂泥はほんど局所的であることが分る．

礫砂泥（Gravelly muddy sand）に属するのは，長江北東（32°56′N・122°43′E，水深30 m）と台湾北東（27°20′N・124°21′E，水深108 m）の2測点であった．いずれも礫23%前後，泥25%以下，砂55%前後の構成比を持ち，砂の比率が高く，特に後者は図2・3から礫質砂と一群の関係にあると考えられる．

礫質砂（Gravelly sand）はバーレン東方（30°37′N・124°36′E，水深44 m），中央大陸棚外縁（29°21′N・126°53′E，水深112 m），魚釣島北方（27°N・123.5°E，水深102 m）の3測点に見られ，その構成比はほぼ礫25%，泥20%以下，砂60%前後で各測点とも砂域又は砂質泥域にある．礫成分は全域内で最も高く，また，最も粗粒の特徴を示した．

主要な砂（Sand）域は，長江東方を中心とする沿岸（30.5°〜33°N・124°E以西，水深40 m以浅）と大陸棚外縁沿い（29°N以北，水深130 m以深）に見られる．前者の南部には海図上に示される「大揚子砂堆（32°N付近，水深30 m前後）」が存在する．また，後者は29°N線に沿い，更に西方へ舌状に伸び123°E付近まで達し，その砂域北方に存在する泥域を取巻く形となっている．29°N以南の大陸棚外縁沿いにも砂域が認められ，多分連続しているものと考えられるが明らかでない．また，長江東方砂域の南部には東へ向かって舌状に分布する小規模な砂域がある．砂域の構成は礫12%以下，泥20%以下，砂75%以上が多い．大陸棚外縁沿いの砂域は非生物起源の砕屑物が深くなるに従い粗粒となり且つ減少し，代って貝殻や石サンゴ類の破片が増加する．すなわち，この砂域沖側の2測点（26°50′N・126°57′E，28°52′N・128°44′E，水深800〜840 m）における底質は，粒揃いの砂で非生物起源砕屑物は非常に少なく，Pteropoda の *Limacina* sp. 又は Foraminifera の *Globigerina bulloides* などの生物遺骸の単純組織を示した．

砂質泥（Sandy mud）域は，次に述べる泥質砂又は泥域に接し散在している．その構成を見ると，礫10%を示す済州島東側及び東シナ海中央域を除きすべて5%以下，砂25〜43%，泥50〜75%である．

泥質砂（Muddy sand）域は大陸棚外縁沿いの砂域に接して散在する．また，長江東方砂域に接し，その沖合いにも認められるが，この泥質砂域は29°N付近にある舌状砂域によって南北に分断された形となっている．この南部の泥質砂域の構成比の礫成分は他の泥

質砂域が10%以下であるのに対し，20%以下とやや多い特徴を示した．礫以外では砂50～75%，泥17.5～50%の構成である．

主要な泥（Mud）域は，山東半島南方の黄海中央部（33°N 以北），中国沿岸（30.5°N 以南），東シナ海中央部（30°～33°N・125°～128°E）の 3 個所に見られる．これらの泥域を概観すると，含礫率は一部を除き 0%に近く，全砂率も低く（約22% 以下），含泥率は 76～100%を占める．

2．合礫率・含泥率・Md ϕ 値分布

底質構成比の含礫率について等値線図を示した（図 4）．この図から高率の礫成分（10%以上を含む）は長江北東・長江南東・大陸縁沿いに見られ，特に長江南東の高率域は帯状に連なった特徴を示している．また，大陸棚外縁沿いの高礫率部分は概観的に図 3 に示す泥質砂域と類似した場所を占めている．泥域に見られる礫成分はほとんど 0 に近いが，黄海中央泥域西部並びに東シナ海中央泥域東部には 5%前後のやや高い礫率を示す場所がある．

次に，含泥率並びに中央粒径値（Md ϕ）の等値線図（図 5， 6）を示した．図 5 から低含泥率（10%以下）域は長江東方砂域（図 3）の大部分及びその砂域南部から東北東並びに南東に向かう 2 つの舌状分布が特徴的である．前者の東北東への舌状分布は大揚子砂堆の位置に相応し，また，図 3， 6 から 2ϕ 以下の粗粒砂を含む泥質砂域となっている．後者の南東舌状分布は 3ϕ 前後の泥質砂域で前者よりも少し細かい粒径をもって構成されていると云える．図 3， 5， 6 から大陸棚外縁（200 m付近）は 2ϕ 前後の粗粒砂を含み，30%前後の含泥率を持つ砂又は泥質砂により構成されていると云える．一方，前述の 3 個所の泥域は70%以上の含泥率を持ち，4ϕ 以上の細泥により構成されている．

3．淘汰度と歪度

中央粒径値（Md ϕ）に対する淘汰度（So），歪度（Sk）の関係を図 7 に示した．同図から明らかなようにわずかの例外を除いて 2～3ϕ の細砂の範囲で最も淘汰度が高い．東シナ海北部海域は So 値 3.0 以上であり，淘汰が悪く，3～4ϕ のものは量的にかなり少ない．淘汰度の高いものは細粒砂であり，東シナ海の中



Fig. 4. 含礫量分布（重量%）
Distribution of gravel content in the sediments (weight %).



Fig. 5. 含泥量分布（重量%）
Distribution of mud content in the sediments (Weight %).



Fig. 6. 東シナ海・黄海底質の中央粒径値（Md φ）分布
Distribution of median diameter of sediments (Md φ) in the East China Sea and the Yellow Sea.

央部から南部域に多い．これらは細粒砂より粒径が小さく（細粒）なっても，また，大きく（粗粒）なっても淘汰度は低くなる傾向にあり，このことは鎌田ら[4]によって既に指摘されている．

歪度（Sk）については細粒砂の内では Sk<1 のものが大部分である．中央粒径値（Md φ）から細粒の方に偏よっており，細粒物が多いことを示している．また，東シナ海北部域は前述したように礫，泥が混じってきて淘汰度が低くなっている．含泥率によって中央粒径値（Md φ），淘汰度（So），歪度（Sk）がどのように変るかについて示したのが図8である．図8-aによれば 4φ より細粒のところで直線に近くなり，4φ より粒粗のところでは双曲線を示している．また，含泥率との関係においても同様である．一方，図8-bの淘汰度（So）との関係でも，極めて興味ある結果が見られている．すなわち，含泥率は40%付近のものが最も淘汰度が低く，これより含泥率が少なくなるにつれて淘汰度が高くなり，且つ含泥率が50%を超えると再び淘汰度が高くなる傾向が見られる．

図8-cに示す歪度（Sk）は含泥率が減ずるにつれて粒径の均一分布を示す正規分布に近づき，含泥率が50%を超えると逆に細粒の方に偏よる傾向が見られる．

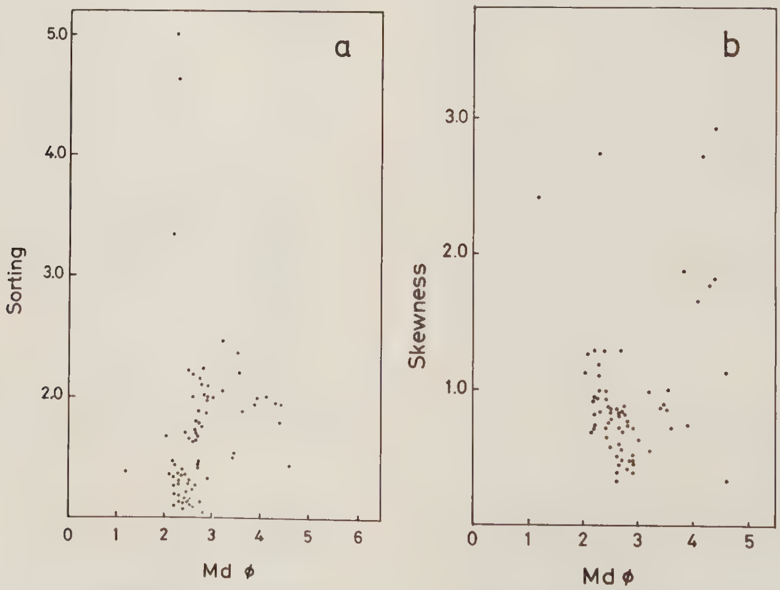


Fig. 7. 中央粒径値（Md φ）と淘汰度（So）(a) および歪度（Sk）(b)との関係
Relation between median diamater (Md φ) and sorting (So) (a), and skewness (Sk) (b).

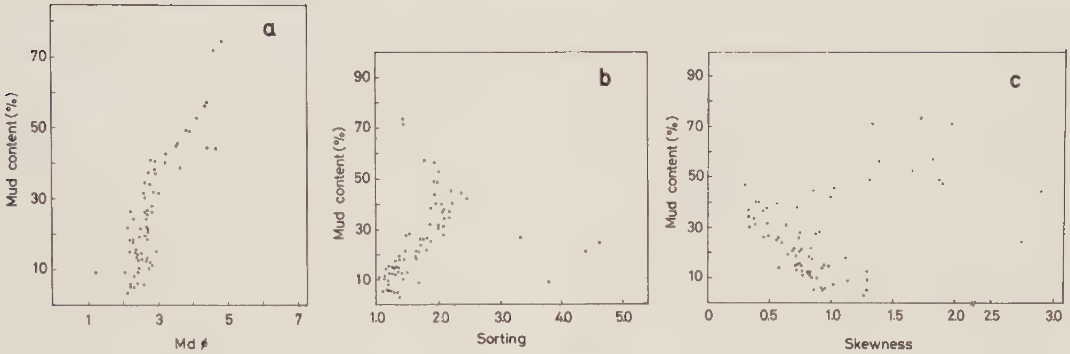


Fig. 8. 含泥量と中央粒径値 (a)，淘汰度(b)，歪度 (c) との関係
Relation between mud content and median diameter (a), and sorting (b), and skewness (c).

4. 水深と含泥率の関係

水深と含泥率との関係について述べると，含泥率の高いものは水深60〜90 mに集中し，水深が 110 m より深くなれば含泥率は減少し，砂質含量の多い底質となっている．このことは，後者の砂質は海面低下時のものであることを暗示する．このほか砂質の多いものは水深40〜60 m付近にも見られる．砂質泥は 120 m より深いところには存在しない．そして泥質は70〜80 m付近に多く，一部の海域を除いては 105 m 以深にはみられない．泥質砂も二三の例外を除いて 110 m以浅に分布している．大陸棚上では全般的には，水深が深くなれば含泥量は少なくなる傾向がある．

5. 堆積物の色調

堆積物のもつ色調は海況を反映し，その粒度や組成も併せて漁場探索の重要な指標とされてきた．例えば星野[13] は青色の泥質は潮目に多く存在し漁業と密接な関係を持つことを指摘した．満塩[3] は粒度組成と色調は関連性があり，更に両者は水深などとも関係することを述べた．

図 9 は対象海域の堆積物色相を示した．この図から東シナ海・黄海における色調は，基本的に Yellowish gray によって構成されている．陸水の影響を受け易い沿岸域では，長江東方の Blackish gray，その北側では Brownish gray（酸化泥）域が広く存在する．前者の南側沿岸域では有機質を多く含み[11] Yellowish gray である．なお，Niino ら[10] は東シナ海・黄海の底質の色調を Pale brown, Yellow brown, Olive gray に分けており，前者は中国大陸に隣接した海域に大陸に沿って帯状に，中者は黄海と東シナ海の大部

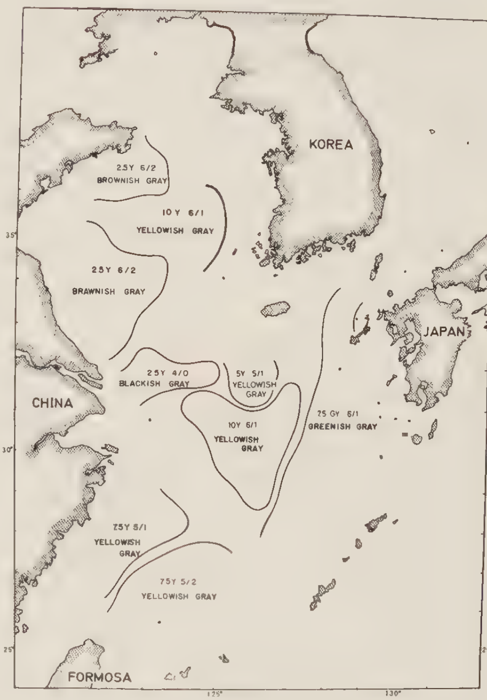


Fig. 9. 東シナ海・黄海における堆積物の色相分布（農林水産技術会議事務局監修（1965）標準土色帖記号による）
Distribution of sediments colour in the East China Sea and the Yellow Sea.

分，後者は済州島南部と長江河口南部のバーレン南方に分布する．

6. Md 4φ 以下の各ふるい残留物組成

浜田ら[11] に従い，調査海域を図10に示す 5 Region に区分し，各ふるい残留物の組成を比較検討した．Md 4φ 以上の細粒泥質については顕微鏡観察を行っていない．各区の底質の特徴をまとめると，Region 1 は，その中央部は泥質堆積物によって占められている．Region 2 は主として砂と泥質砂の分布域であり，長江の影響の最も強いところである．Region 3 は大陸側は泥質で，反対に沖合では砂質の分布で特徴づけられている．Region 4 は主として泥質の分布が多い．また，Region 5 は黒潮暖流に接する海域であり，主として砂質堆積物で占められている．

これら各区の残留物組成では次のような特徴が示される．

Region 1 では 2〜3φ において非生物起源砕屑物が圧倒的に多く，その他には貝殻片，Madreporaria,

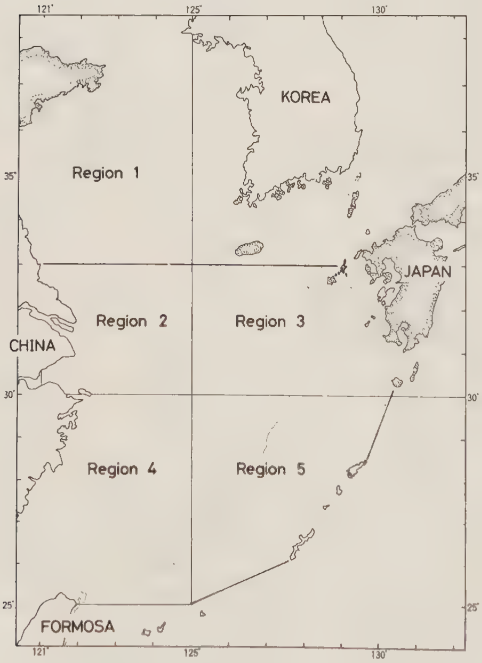


Fig. 10. 調査海域区分
Temporary division of the surveyed region in the East China Sea and Yellow Sea.

Elphidium crispum が極く少量見られる．3〜4φ では砂質砕屑物は 2〜3φ のものよりさらに多く，このほか Madreporaria と貝殻，*Cibicides Lobalulus* が見られる．Region 2 では貝殻が主要構成物であり，そのほかには Madreporaria が極く少量と *Elphidium* も少量見られる．しかし，2φ より細粒のものになれば砕屑物の砂が卓越してきて，貝殻片は非常に少なくなり，*Elphidium* も若干混在している．*Cibicides*, *Globigerina* は共に少量であるが，砂質粒径のところに含まれており，その量は各粒径の砂のところに均等に分布している．Region 3 の −2φ より粗い部分では貝殻片が多く，次いで礫が多く，また，Madreporaria もかなり見られる． 2〜1φ 付近では貝殻片が多くを占め，砂屑性の砂粒は少ないが，1〜2φ のところでは砂粒と *Globigerina bulloides* が多く，貝殻片とほぼ同量になる．更に 3〜4φ においては砂粒が多くなり，*Globigerina bulloides* と貝殻片がほぼ等量で少なくなっている．Region 4 では 1φ より粗粒のものでは貝殻片が圧倒的に多く，−1〜1φ で *Elphidium* がかなり多くある．1〜2φ では砂粒，貝殻片，*Cibicides*, *Globigerina* がほぼ等量に含まれる．3〜4φ では砂粒が圧倒的に多く，貝殻片と *Globigerina* は少量となる．Region 5 では Region 4 と同様，1φ より粗粒のものでは貝殻片が圧倒的に多く，1〜2φ では砂粒，貝殻片，*Globigerina* がほぼ等量である．また，2〜4 φ では砂粒が圧倒的に多くなる．

構成種ごとの特徴を見ると非生物起源砕屑物の礫・砂は Region 1 において 2φ より細粒の砂が圧倒的に多く，Region 2 では 1φ より細粒の中・細粒砂が多い．Region 5 は Region 2 と同様である．Region 3, 4 では 1〜2φ と 3〜4φ の粒径が卓越しているが，Region 3 では，−2φ より粗粒の礫も多い．

生物起源砕屑物の貝殻片は Region 1 では非常に少ないが，これを除けば他の海域に多いのが特徴である．

また，Region 1 を除く海域の粒径分布はすべてのサイズにわたって見られるが，−2〜1φ の細礫〜粗粒砂サイズのものが最も多い．このことは，貝類の生息域の流れや破砕した貝殻片の比重などと関連しており，恐らく同じ比重粒子の集積によるものと思われる．これと同様な傾向は，唐津湾沖の海底谷（満塩 1985)[12] 付近でも認められ貝殻片は粗粒砂中に多い．

Region 1 の黄海域では 2ϕ より粗粒のものは少量しか存在しない.

石サンゴ目の Madreporaria はすべての海域で認められた. しかし, Region 1 には, 3～4ϕ にのみ極めて少量存在する. Region 3, 4, 5 ではほとんどすべての粒径にわたって分布しているが, −2～0ϕ の粗い部分に最も多い. Region 1 に少ないことは, 一般に高塩分の暖海域を好む石サンゴ類が黄海のように底層冷水や大陸沿岸前線の影響を受ける環境に適応しにくいためと思われる.

有孔虫類の内, *Globigerina bulloides* はここで得られた Region 1 の試料内には見られない. Region 2 においては極く少量が見られる. 一方, 東シナ海中, 南部の Region 3, 4, 5 の海域ではかなり含まれている. その粒径は 1～2ϕ のものが最も多くみられる. 0ϕ より粗粒のものは見られない. この種は浮遊性であり, むしろ外洋域に多い. 従って Region 1 のように黒潮や対馬暖流の影響を受けにくい湾奥的な地形のところは, 生息環境として適さないものと思われる. *Elphidium crispum* は Region 1 以外にはかなり分布している. 粒径は −1～1ϕ のものが最も多いが, ほとんどすべての粒径にわたって存在している. *Cibicides Lobatulus* は全体的に Region 4 が最も多く, Region 2, 3 にもかなり分布しているが, Region 1, 5 にはほとんど見られない. 粒径から見れば 0ϕ より細粒のところを占めており, 1～2ϕ のところに最も多い.

以上をまとめると, 非生物起源砕屑物の 3ϕ より細かい細粒砂は, 全体として生物起源のものより圧倒的に多い. 生物起源のものは貝殻片が大部分を占め, これは 1ϕ より粗粒の中砂～礫の粒径のところにある. その他の生物起源の粒子は余り多くは見られない.

また, Region 3 では非生物起源砕屑物の内でも前述の細粒砂のほかに, 粗粒なものがあるが, 恐らく海水準の低下時に起因する残留物であろうと思われる. Region 1 で生物起源のものが少なく, その原因としては, 黄河など大陸河川から土砂の搬入及び黄海冷水や大陸沿岸水の影響により水温, 塩分などの変化が大きく, 底棲性生物の生育には不適環境であることなどが考えられる.

要　　約

東シナ海・黄海域の274地点の海底堆積物の粒度分布等を調べ堆積学的に検討した.

粒径分布は全体として, 礫, 砂, 泥からなり, 最も粗粒なものは礫質砂として区分される. 礫質砂の分布する海域は東シナ海中部の大陸棚斜面近くと魚釣島北方海域及びバーレン東方の3海域が挙げられる. これらは, いずれも砂又は泥質砂の中にパッチ状に散在している.

砂質域は大きく分けて2海域に分布している. その一つは長江河口の東方に分布し, 長江からの排砂で形成され, もう一つは大陸棚縁辺域に沿って弧状に巾を持った分布をし, 黒潮と対馬暖流の卓越するところに見られる.

4ϕ 以上の細粒の泥は黄海域に見られる. また, 東シナ海では, バーレン以南と済州島南部域に分布している..

含泥率は水深70～90m付近に高く, 一部の海域を除いては105m以深では極めて低くなる.

底質の色調は黄海域では褐色か帯褐灰色を呈したものが多い. 東シナ海域でも北部海域では同系と思われるものが見られるが, 南部では灰色か緑色を帯びた色相が主である.

砂粒組成について見ると, 黄海の 3～4ϕ では非生物起源砕屑物が圧倒的に多い. 長江沖は 1ϕ までは貝殻片が主要構成物であるが, 2ϕ より細粒部分は砂が卓越し, 貝殻片は少なくなる. 対馬暖流域では, −2ϕ より粗いところは貝殻片, 礫であるが, 1～2ϕ の粒径では非生物起源の砂粒が多く, 生物性砕屑物では有孔虫, 貝殻片がほぼ同量に混在する. バーレン南部の泥質分布域の 1ϕ より粗粒部では, 貝殻片が圧倒的に多く, 1～2ϕ では砂粒, 貝殻片及び有孔虫類が同程度含まれる. 3～4ϕ では, 砂粒が圧倒的に多くなる. 黒潮流域においては 1ϕ より粗いところでは貝殻片が卓越し, 1～2ϕ では砂粒, 貝殻片, 有孔虫類がほぼ同量である.

文　　献

1）西村三郎　1964 a：動物相からみた日本海の起源（Ⅰ）．地球科学，(73)，18〜26.

2）西村三郎　1964 b：動物相からみた日本海の起源（Ⅱ）．地球科学，(75)，29〜44.

3）満塩博美　1964：天草富岡半島付近の底質．九大理研報，地質之部，**6**，(3)，167〜187.

4）満塩博美　1965：福岡県糸島半島沖の底質．九大理研報，地質之部，**8**，(1)，63〜73.

5）山田梅芳・田川　勝・岸田周三・本城康至　1986：東シナ海・黄海のさかな．西海区水産研究所 501 pp.

6）浜田七郎・浜田律子　1962：東シナ海の底土に関する研究．第1報．大陸棚漁場における底土の粒度および組成について．西水研研報，(27)，61〜75.

7）浜田七郎・浜田律子　1963：東海黄海の底土に関する研究．第2報．底びき漁場底土の粒度および全窒素含量と強熱減量の分布について．西水研研報，(28)，51〜55.

8）浜田七郎・浜田律子　1963：黄海および五島北西海域の底質の性状．陽光丸調査研究報告，(1)，63〜68.

9）Krumbein, W. C. and Slooss, L. L. 1958: Stratigraphy and Sedimentation. Freeman & Co., 497 pp.

10）Niino, H. & Emery, K. O. 1961: Sediments of shallow portion of East China Sea. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 72, 731〜762.

11）浜田七郎・細川　巌　1959：東支那海底土成分について．日本海洋学会誌，**15**，(2)，39〜42.

12）満塩大洸　1985：極浅海域の底質，その5，唐津湾沖海底谷の末端部．高知大学学術研究報告．**32**，305〜320.

13）星野通平　1956：青泥の異常分布と漁場との関係について．日本海洋学会誌，**12**，103〜107.

14）鎌田泰彦・堀口承明　1963：千々石湾茂木沖の堆積物と貝類遺骸群集．長崎大学芸，自然科学研報，(14)，33〜47.

西水研研報　第64号，昭和62年３月
Bull. Seikai Reg. Fish. Res. Lab., No. 64, March 1987.

長崎県平戸島志々伎湾におけるクロロフィル *a* の現存量と基礎生産量

木元　克則*・中嶋　純子*・森岡　泰啓*

Standing Stock of Chlorophyll *a* and Primary Productivity in a Small Inlet of Kyushu

Katsunori KIMOTO*, Junko NAKASHIMA*
and Yasuhiro MORIOKA*

Seasonal changes of chlorophyll *a*, and primary productivity were investigated during the period from May 1983 to May 1984 in Sijiki Bay, western Kyushu. Chlorophyll *a* was determined fluorometrically and spectrophotometrically, and primary productivity was measured by *in situ* light and dark bottle oxygen method.

Concentration of chlorophyll *a* varied between 0.1 and 4.6 μg/*l*. Horizontal distribution was uniform in the whole area of the Bay. Maximum concentration was noticed near the bottom during stratified seasons. Mean chlorophyll *a* concentration in the euphotic zone showed remarkable seasonal change with the maximum in autumn and spring. Maximum values of the net productivity through the year ranged 1.8 to 20.5 mgC/mgChl*a*/h, and were observed at the layers between 1.5 and 3.5m deep. These values were higher than the previous ones measured in the oceanic waters of Japan. Daily net production in the water column was varied between 0.04 and 2.04 gC/m^2/day with a mean of 0.80 gC/m^2/day. It was nearly equal to the previous values observed in the Japanese coastal waters. Calculated annual mean phytoplankton biomass was 8.7 tons in carbon and the annual primary productivity was estimated to be 2,860 tons in carbon in the whole body of water of Shijiki Bay.

内湾における植物プランクトンは，海藻に由来するデトライタスとともに高次の生物の生産をささえるものとなっている．このため植物プランクトンによる基礎生産量の把握は高次生物へのエネルギーの流や生産量を推定する際の重要な要素である．西海区水産研究所を中心とする研究グループは長崎県平戸島志々伎湾において，マダイ・ヒラメの資源培養に関する研究を行ってきている．この研究のなかで，志々伎湾におけ

昭和62年１月９日受理（Recieved January 9, 1987）
西海区水産研究所業績第434号（Contributions from the Seikai Regional Fisheries Research Laboratory, No. 434）
*西海区水産研究所　〒850　長崎市国分町49（Seikai Regional Fisheres Research Laboratory, Kokubu-machi, Nagasaki 850, Japan）

る餌料生物の生産量および生産速度を推定するにあたり，その餌量の一翼を担う植物プランクトンの生産量と生産速度の測定を試みた．

基礎生産の測定方法の ^{14}C 法[1] はその感度の良さからかつては広く用いられ，1950年代後半から1960年代を中心として多くの測定結果が得られている[2-5]．ところが，近年放射性物質の使用が厳しく制限されるに及び，^{14}C 法に代る手法として安定同位元素 ^{13}C を用いる方法が開発されつつあり[6]，我が国の内湾における測定結果が報告されている[7]．しかし ^{13}C 法には重炭素分析計を必要とするので，溶存酸素法は測定感度が先の2法より低いが簡便なので今なお用いられている[8,9] 方法である．

著者らは志々伎湾において1年間にわたり植物プランクトンの現存量と酸素法による基礎生産量の測定を行ったので，その結果を報告する．なお，本研究は農林水産省農林水産技術会議大型別枠研究「マリーンランチング計画」における研究の一部として行われたものである（MRP86 IV-2-2）．

材　料　と　方　法

志々伎湾は九州北西平戸島の西南端近くにあり，北西に向かって開口し，南東方向に約2.5海里湾入する小さな湾で，その面積は約10km²である[10]．志々伎湾における年間のクロロフィル a 量，基礎生産量とその季節変化を知るために Fig. 1 に示す調査点において，西海区水産研究所調査船「陽光丸（499.8 t）」もしくは志々伎漁業協同組合所属の漁船によって現場調査を実施した．

1983年5，6，8，9，11，12月，1984年1，3，4，5月の合計10回にわたり，表面水は棒状温度計に

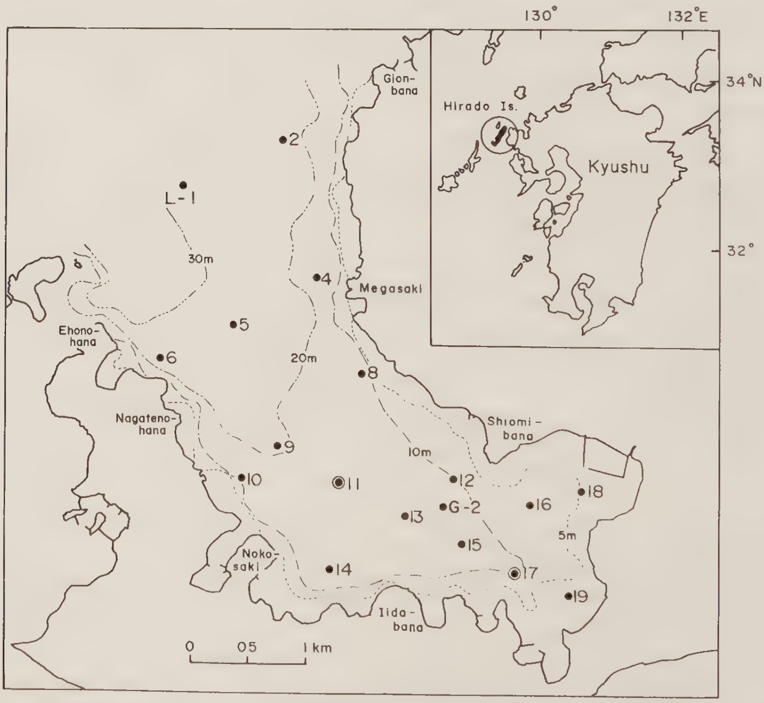


Fig. 1. 長崎県平戸島志々伎湾における調査定点
A map showing the location of stations in Sijiki Bay, southwestern part of Hirado Is., western Kyushu, May 1983-May 1984.

より，他の層は新日本気象製 DBT，MOX-BT 2型により測温し，ニスキン型（1.7 *l* と10 *l*）及びバンドーン型採水器（6 *l*）によって各層採水を行った．塩分はオートラボ社製サリノメーター，601-MK III型により実用塩分[11]として測定した．クロロフィル *a* とフェオフィチン量の測定は螢光法によった．すなわち，試水 300m*l* をガラス繊維ろ紙（Whatman® GF/C，直径24mm）でろ過し，冷凍保存後90%アセトンで抽出し，ターナー社製螢光光度計，111型で測定，西条[12]および伊藤・飯塚[13]に従い算出した．ただし1983年12月は分光法によりクロロフィル *a* のみを測定した．また栄養塩については硝酸，亜硝酸，リン酸及びケイ酸の測定を合せて行った．

基礎生産量の測定は，初回を除く凡ての調査月に3つに水塊区分される[14]志々伎湾の中央部及び奥部のそれぞれ1調査点（Stn. 11 及び17）で実施した．ただし1984年3月は Stn. G-2 において行なっている．試水は当日日出前にバンドーン採水器で表面より海底上1 m層までの5～6層から採取し，まず初めに，大型の動物プランクトンを除くため網目幅 200μm のナイロン製網地でろ過した．試水を静置後，500m*l* 容量のガラス瓶（明暗瓶各2本）にサイホンを用いて静かに注入して封じ，各採水層に日出直前から正中時まで吊下した．試水中の溶存酸素量は STRICKLAND・PARSONS[15]に基づくウインクラー法により測定した．総光合成量は明瓶と暗瓶との溶存酸素量の差，呼吸量は暗瓶の溶存酸素量と吊下時の溶存酸素量の差，純光合成量は明瓶の溶存酸素量と吊下時の溶存酸素量の差をそれぞれ光合成商 $O_2/CO_2=1.25$[16]として炭素量に換算して求め，吊下時間で除して1時間あたりの速度を求めた．光合成測量に用いた各層の試水のクロロフィル *a* は SCOR/UNESCO[17]による分光法により測定した．単位クロロフィル *a* あたりの光合成速度は純光合成速度をクロロフィル *a* 量で除して求めた．

各層における日総光合成速度は半日吊下して得た1時間あたりの総光合成速度に日出から日没までの時間を乗じて得た．なお，日呼吸速度は，昼夜の呼吸速度を一定として1時間あたりの呼吸速度に24時間を乗じた．日純光合成速度は日総光合成速度より日呼吸速度を減じた．水柱あたりの総光合成量，呼吸量及び純光合成量は，そのいずれもが実測層間で直線的に変化するものとして積算した．

結　果

1. 水温・塩分の変化

湾口部の Stn. L-1，湾中央部の Stn. 9 及び湾奥部の Stn. 17 における水温，塩分の鉛直積算平均値の季節変化をそれぞれ Fig. 2 に示した．湾奥部（Stn. 17）の水温は夏季に28℃，冬季には11℃と湾口部（Stn. L-1）に比べて夏季に1℃程高く，冬季に0.5℃程低く，湾奥部の方がやや大きな季節変化をした．塩分は水温とは逆の季節変化をし，冬から春にかけて高く（34.5以上），夏季に低かった（32.5）．これらの結果は1975～1977年について浜田[14]によって詳細に報告されているものとほぼ同様である．

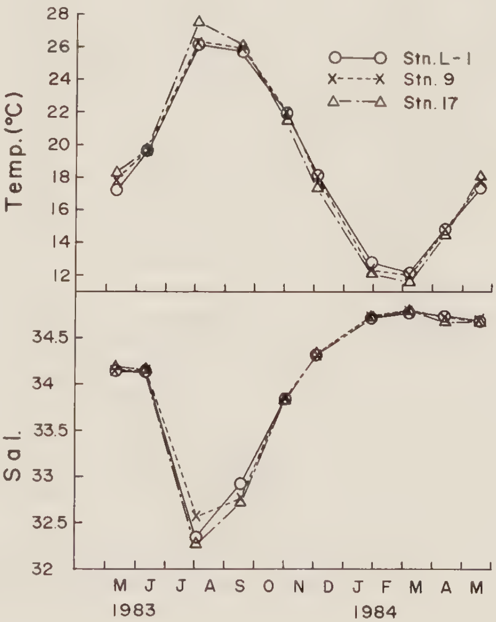


Fig. 2. 志々伎湾の湾口部（Stn. L—1），湾中央部（Stn. 9）及び奥湾部（Stn. 17）における水温と塩分の季節変化（鉛直積算平均値）
Seasonal changes of temperature and salinity (mean of values integrated in vertical profile) at stations representing the mouth (Stn. L—1), intermediate (Stn. 9) and innermost (Stn. 17) regions of Shijiki Bay, May 1983 May 1984.

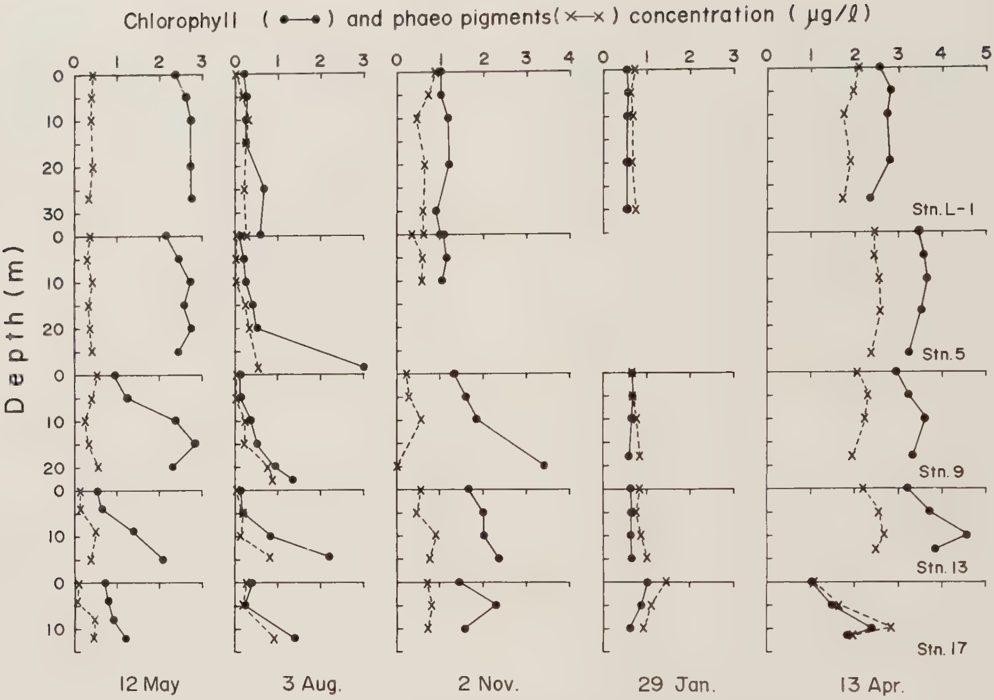


Fig. 3. 志々伎湾の5定点におけるクロロフィル *a* 及びフェオ色素量の鉛直分布とその季節変化
Vertical and seasonal changes in chlorophyll *a* (●——●) and phaeo-pigments (×——×) at 5 stations in Shijiki Bay, May 1983–Apr. 1984.

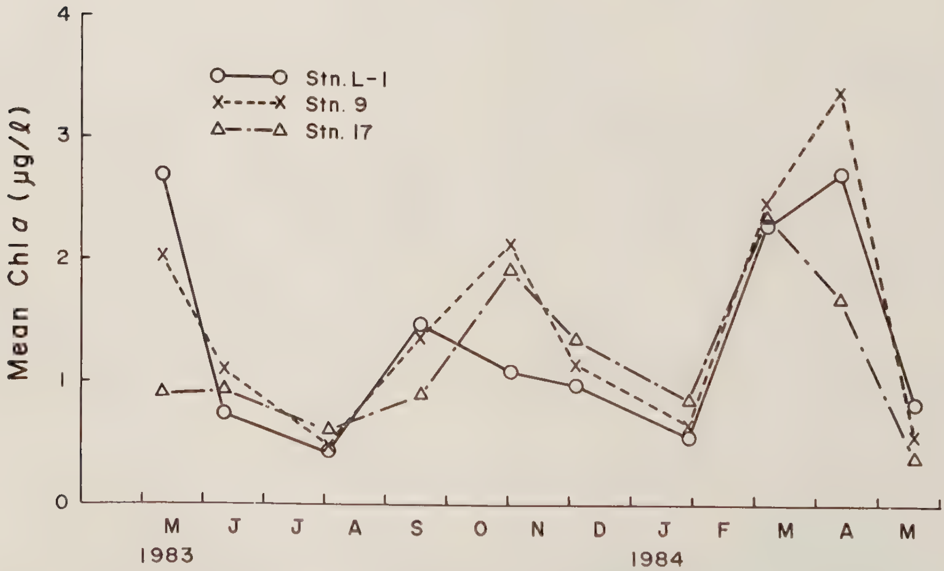


Fig. 4. 志々伎湾の湾口部 (Stn. L—1), 湾中央部 (Stn. 9) 及び湾奥部 (Stn. 17) における有光層内の平均クロロフィル *a* 濃度の季節変化
Seasonal changes of mean chlorophyll *a* (μg/*l*) in the euphotic zone at three stations in Shijiki Bay, May 1983 May 1984.



Fig. 5. 志々伎湾における有光層内の単位面積あたりクロロフィル *a* 量の分布と季節変化，数字はクロロフィル *a* 量（mg/m²）を表す

Distribution of the amount of chlorophyll *a* (mg/m²) in the euphotic zone of Shijiki Bay, May 1983 May 1984.

2. クロロフィル *a* の分布と現存量

10回にわたる調査のうち，1回おきの1983年5月，8月，11月，1984年1月，4月について湾軸の5調査点（Stns. L–1，5，9，13，17）におけるクロロフィル *a* 及びフェオ色素量の鉛直分布を Fig. 3 に示した．クロロフィル *a* 濃度の鉛直分布は，年間を通して湾奥部の調査点で底層に高く，表層にやや低かった．この傾向は表層が高水温（28℃以上）になった8月に特に顕著であった．水平的には各調査点の間で大きく異ならなく，濃度は 0.1〜4.6μg/*l* の範囲にあって春と秋に高く，季節的に大きく変動した．

クロロフィル *a* の分解物であるフェオ色素は，1984年3月と4月を除いて 1μg/*l* 以下であった．1984年4月はクロロフィル *a* が 3μg/*l* を超える調査点があり，フェオ色素もこれに応じて高く 2μg/*l* 程度であった．クロロフィル *a* とフェオ色素の和に占めるフェオ色素の量は，通常志々伎湾では50%以下であるが，1984年1月と5月が50%以上と高くなっていた．

Aruga and Monsi[18] は海洋における補償深度を透明度の2.67倍と推定している．志々伎湾内の透明度は湾奥部では年間8ないし13，湾口部では10ないし19と高く，これから推定される有光層は湾内の全調査点で海底までの全層となる．従って，全層のクロロフィル *a* 濃度を積算し，それを積算した深度で除し，有光層内の積算平均クロロフィル *a* 濃度を求めた．Fig. 4 に湾口部（Stn. L–1），湾中央部（Stn. 9）及び湾奥部（Stn. 17）における積算平均クロロフィル *a* 濃度の季節変化を示した．これらは1983年5月及び1984年4月を除くと3調査点の間に大きな差はなく，季節的に大きく変動して春と秋に2つのピークが認められた．1984年4月が最も高く，湾口部と湾中央部で 2μg/*l* を超えた．これに対し，1983年8月，1984年1月及び5月が低く，各調査点で 1μg/*l* 以下であった．

湾内各調査点での水柱あたりのクロロフィル *a* 量を Fig. 5 に示した．海深の小さいほどこの値は小さく，1983年5月より1985年5月の間で湾奥部で 3.7〜28.1 mg/m²，湾中央部で6.6〜60.5mg/m²，海深の大きい湾口部では13.6〜91.2mg/m² であった．各月の積算平均クロロフィル *a* 濃度と水柱あたりクロロフィル *a* 量の平均値と範囲を Table 1 に表わした．各調査時のすべての調査点の水柱あたりクロロフィル *a* 量の平均値は 11.6から 59.4mg/m² と最大5倍程度の変動がみられ，積算平均クロロフィル *a* 濃度の季節変化と同様に春と秋にピークがあり，1983年5月，11月，1984年3月及び4月が高かった．

湾全体のクロロフィル *a* の現存量は，前述のとおり平均クロロフィル *a* 濃度が湾内各調査点により大きく異ならなかったことから，全調査点の平均クロロフィル *a* 濃度に湾の容積（155×10⁶ m³）を乗じて求めた．湾の容積は海図215号（現在は廃版）を用いてエホノ鼻

Table 1. 平戸島志々伎湾における有光層内の積算平均クロロフィル *a* 濃度と水柱あたりクロロフィル *a* 量の平均値と範囲，および湾全域の現存量
Average concentration, amount and total standing stock of chlorophyll *a* in the euphotic zone of Sijiki Bay, May 1983–May 1984.

Period	Average Chl *a* concentration (μg/*l*) Mean (range)	Chl *a* amount (mg/m²) Mean (range)	Standing stock of Chl *a* (kg)
May 12, 1983	1.67 (0.61 2.69)	32.1 (3.7-72.6)	258.9
June 12-13, 1983	1.04 (0.71-1.57)	15.3 (8.0-25.7)	161.2
Aug. 3, 1983	0.59 (0.42 0.73)	12.8 (7.2-20.8)	91.5
Sep. 18-19, 1983	1.45 (0.62-2.81)	19.0 (6.2-49.7)	224.8
Nov. 2, 1983	1.65 (1.08-2.12)	30.2 (19.1-42.4)	255.8
Dec. 4, 6, 1983	1.05 (0.78-1.35)	15.9 (18.8-29.1)	162.8
Jan. 29, 1984	0.68 (0.55-0.85)	11.6 (8.5-16.4)	105.4
Mar. 8, 1984	2.40 (2.27-2.58)	50.5 (28.1-67.1)	372.0
Apr. 13, 1984	3.03 (1.67-3.91)	59.4 (19.3-91.2)	469.7
May 9, 1984	0.55 (0.39-0.83)	13.1 (3.9-28.9)	85.3
Annual mean	1.41	26.0	218.7

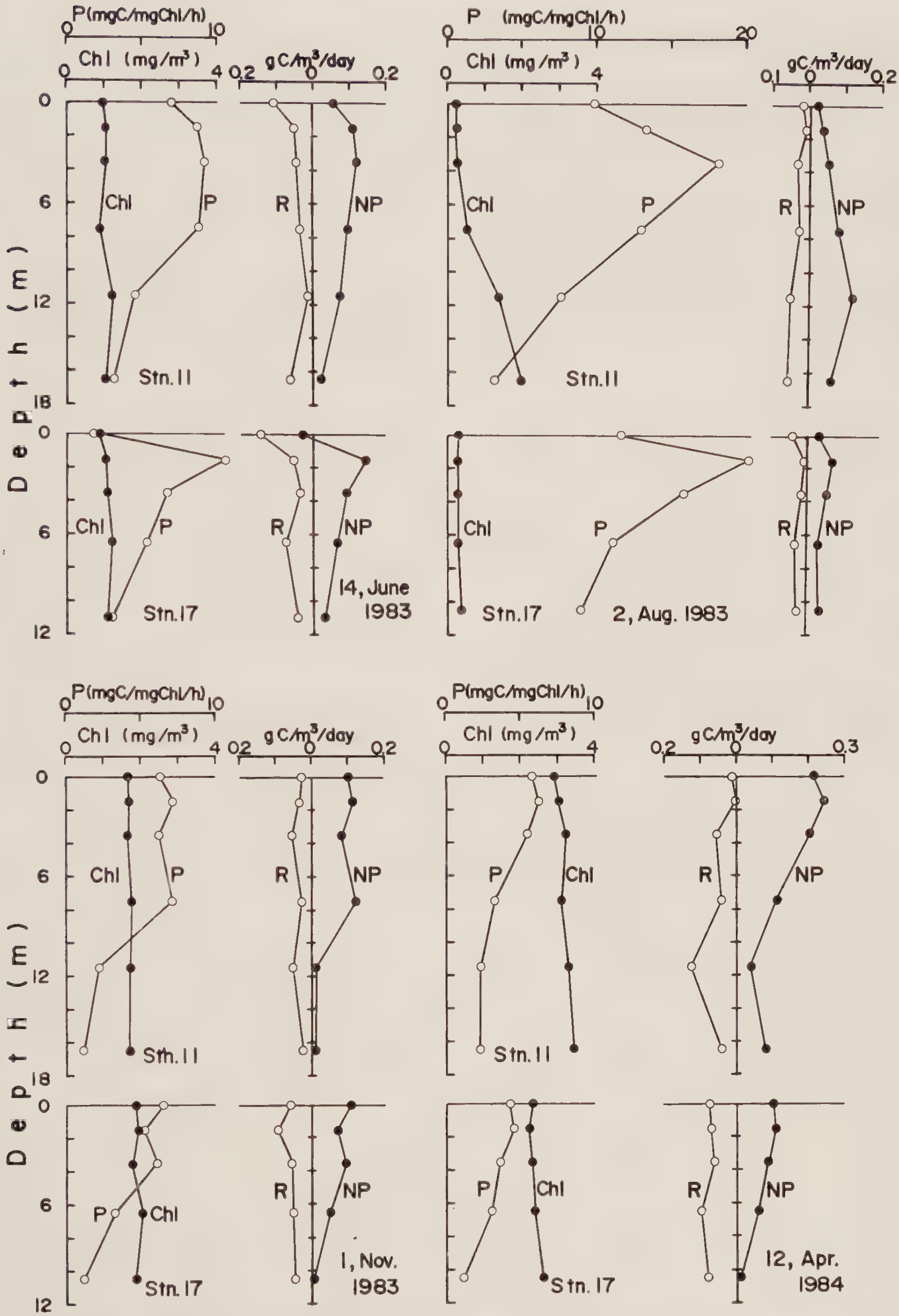


Fig. 6. 志々伎湾の2定点におけるクロロフィル *a* (Chl), 単位クロロフィル *a* あたり純光合成速度 (P), 日純光合成速度 (NP) 及び日呼吸速度 (R) の鉛直分布

Vertical profiles of chlorophyll *a* (Chl), net photosynthetic rate per unit amount of chlorophyll *a* (P), net photosynthetic rate (NP) and respiration rate (R) at two stations in Shijiki Bay.

北西端と祇園鼻を結ぶ線より内側の部分について0，5，10，20，30，40mの各等深線にはさまれる面積を求め，深度に基本水準面（略最低低潮面）と平均水面の差（1.6m）を加えたものを乗じて算出した．この結果，湾全体のクロロフィル *a* の現存量は最低85kg（1984年5月）から最高470kg（1984年4月）の範囲に，平均218.7kgとなった（Table 1）．炭素量とクロロフィル *a* 量の比（C/Chl*a*）を RILEY[19] に従って40とした時に植物プランクトン体炭素量としての現存量は最低3.4から最高18.8トン，平均8.7トンと推定された．

3. 光合成量

合計9回にわたる光合成調査のうち，1983年6月，8月，11月及び1984年4月におけるクロロフィル *a* 濃度（Chl），単位クロロフィル *a* あたりの光合成速度（P），一日あたりの純光合成速度（NP），及び呼吸速度（R）の鉛直分布をFig. 6に，調査点における各月の単位面積の水柱あたりに積算した総光合成量，呼吸量及び純光合成量をTable 2に示した．

6月のクロロフィル *a* 濃度は2調査点とも全層で0.9〜1.2μg/*l* の範囲にあり，層による濃度の大きな違いはなかった．単位クロロフィル *a* あたりの光合成速度は Stn. 11 では0〜7.5m層で高く7.0〜9.2mgC/mgChl*a*/h であったが，Stn. 17 では高い値は1.5m層だけであり，それは10.9mgC/mgChl*a*/h に達した．純光合成速度は Stn. 11 では0〜3.5m層で高く，Stn. 17では1.5m 層で最大となり0.14gC/m³/day であった．呼吸速度は，Stn. 17 の表面で高く，純光合成速度は負となった．水柱あたりの純光合成量は Stn. 11 で1.36gC/m²/day, Stn. 17 で 0.78gC/m²/day であった．

夏季の成層状態となった1983年8月のクロロフィル *a* 濃度は Stn. 11 の底層で 2.0μg/*l* と高かったのを除いて 0.5μg/*l* 以下と低かった．単位クロロフィル *a* あたりの光合速度は Stn. 17 の1.5m層で20.5mgC/mgChl*a*/h と最高の値が得られ，Stn. 11 では3.5m層で高く，18.2mgC/mgChl*a*/h であった．純光合成速度は Stn. 11 の11.5m層で高く，0.12gC/m³/day であった．

1983年11月は両調査点でクロロフィル *a* 濃度が1.7〜2.1μg/*l* と高かったために，単位クロロフィル *a* あたりの光合成速度が6月より低くなっているにもかかわらず純光合成量は6月とほぼ同じ程度の値が得られた．

1984年4月の単位クロロフィル *a* あたりの光合成速度は高くなく，Stn. 11 の1.5m層で最高でも6.3mgC

Table 2. 志々伎湾の2定点における水柱あたりの総光合成量，呼吸量，総光合成量に占める呼吸量の割合，および純生産量．ただし，1984年3月は Stn. G-2 における結果
Seasonal changes of the gross production, respiration, the rate of respiration to gross production, and net production at two stations in Shijiki Bay, June 1983-May 1984.

Period	Stn. SP 11				Stn. SP 17			
	Gross production (GP) gC/m²day	Respiration (R) gC/m²/day	(R/GP)	Net production (NP) gC/m²/day	Gross production (GP) gC/m²/day	Respiration (R) gC/m²/day	(R/GP)	Net production (NP) gC/m²/day
June 14, 1983	2.03	0.67	0.33	1.36	1.44	0.66	0.46	0.78
Aug. 2, 1983	1.87	0.58	0.31	1.30	0.72	0.23	0.32	0.49
Sep. 17, 1983	1.52	1.02	0.67	0.51	1.72	1.25	0.73	0.48
Nov. 1, 1938	1.74	0.63	0.36	1.11	1.24	0.59	0.48	0.65
Dec. 7, 1983	0.88	0.68	0.78	0.20	0.91	0.13	0.15	0.78
Jan. 28, 1984	0.22	1.24	*	−1.03*	0.20	0.25	*	−0.05*
Mar. 10, 1984					1.10	0.32	0.29	0.78
Apr. 12, 1984	3.06	1.02	0.33	2.04	1.55	0.81	0.52	0.74
May 11, 1984	0.70	0.65	0.94	0.04	0.58	0.82	*	−0.24*
Mean**			0.54	0.94			0.42	0.67
S. D.			0.26	0.72			0.19	0.14

** Excluding the data with a single asterisk.

/mgChl*a*/h であった．しかし，クロロフィル *a* 濃度が 2.2〜3.4μg/*l* と調査期間中最も高く，さらに Stn. 11では，表層の呼吸速度が特に低かったために，結果的に純光合成速度が高くなって1.5m層で 0.24gC/m³/day であった．水柱あたりの純光合成量は Stn. 11 で調査期間中最高の 2.04gC/m²/day が得られた．

Stn. 11 及び17両地点のクロロフィル *a* あたりの光合成速度の極大は表面よりも1.5〜3.5m層にみられた．その値は 1.8〜20.5mgC/mgChl*a*/h の範囲にあり，季節的には8〜9月に高く，1〜3月に低かった．

1984年1月の両地点と，5月の Stn. 11 では光合成速度が低く，またクロロフィル *a* 濃度も 0.3〜0.7μg/*l* と低かったことにより純光合成速度はほとんどの層で負となり，水柱あたりの純光合成量が負となった．これらの負の測定結果を除くと志々伎湾の純光合成量は 0.04〜2.04gC/m²/day の範囲にあり，年平均にして 0.80gC/m²/day となった．

志々伎湾の全体の基礎生産量は，湾内各域の生産速度が同じとして，平均値 0.80gC/m²/day に先に求めた湾の面積（9.80km²）を乗じて炭素量として日間7.84トン，さらに日数を乗じて年間2,860トンと見積られた．

考　　察

志々伎湾の環境についてはすでに浜田[14] によって詳しく報告され，外海水の影響を大きく受ける開放的な性格の強い湾であるとされている．更に，水温，塩分，リン酸塩，ケイ酸塩，亜硝酸塩及びクロロフィル *a* の6測定項目を用いた主成分分析法による多変量解析の結果，全体的には湾内の環境は変化に乏しくほぼ一様な条件であるが，湾口部と湾奥部にある程度の独自な水塊の存在を示唆し，両者の消長が湾中央部の性質を決めると推察している．今回得られた水温・塩分の結果もこの特性を示したが，湾奥部と湾口部との差は夏季と冬季の水温にみられたにとどまった．クロロフィル*a*量の湾内での分布は水温，塩分の結果と同様にほぼ一様で，湾口部，湾中央部及び湾奥部における濃度に違いはなかった（Fig. 2）．

志々伎湾のクロロフィル *a* の濃度範囲 0.1〜4.6μg/*l* は，我が国の沿岸，内湾域での報告の内，特に富栄養化の進んだ東京湾の表層で周年にわたって得られる 10μg/*l* から時に 40〜80μg/*l* にものぼる高濃度[20] をはじめとして，有明海における有光層の積算平均濃度の 1.5〜33.3μg/*l*[22] などの内湾での値よりは低いものの，瀬戸内海備後灘での 0.2〜7.3μg/*l*[5]，長崎湾口での平均 1.33μg/*l*[21] などの沿岸域の値と同程度とみられる（Table 3）．また，木元ら[23] は1983年5月から1984年5月の平戸島の隣接海域である五島灘北部海域における表面のクロロフィル *a* 濃度が 0.1〜4.1μg/*l* の範囲にある結果を得ており，志々伎湾のクロロフィル *a* 濃度は沿岸水に近いものと言え，浜田[14] が述べるように外海水の影響を強く受ける開放的な性格をもっていることに由来するのであろう．

単位クロロフィル *a* あたりの光合成速度の極大値は，1983年9月と1984年5月の結果を除いて両地点で 1.5〜3.5m層の表層にみられた．このなかの最大値（20.5mgC/mgChl*a*/h）は山口・柴田[20] が有賀・柴田[8] の東京湾表層水の酸素法による結果を再計算して求めて得た最大値の 20.6mgC/Chl*a*/h とほぼ等しく，^{14}C 法による黒潮表層域の0.3〜0.7，親潮域の 3〜6 mgC/mgChl*a*/h[3] に比べるとかなり高い値であった．

本研究においては光合成速度の測定を酸素法によって昼間の呼吸量を測定し，一日の呼吸量を求めている．しかし，夜間の呼吸と昼間の呼吸が同じ速度とは限らず，また，完全に除去できなかった動物プランクトン，原生動物，バクテリアなどによる酸素の消費が加わって，今回求めた1日の呼吸量はやや過大となっているかもしれない．水柱あたりの総光合成量に占める呼吸量は Stn. 11 で31から94%（平均54%），Stn. 17で15〜73%（平均42%）におよんでいる．Steeman Nielsen[1] は1日あたりの呼吸量を総光合成量に対して25%と考えたが，その後年間の平均呼吸消費率として40%を採用しており[24]，今回はこれにかなり近い結果となった（Table 2）．

志々伎湾における水柱あたりの純光合成量は，季節的に変化し，0.04〜2.04gC/m²/day の範囲にあり，平均 0.80gC/m²/day であった．これらの結果は同じく酸素法により有明海で得られた 0.05〜4.01gC/m²/day（平均 1.30gC/m²/day）[22] や，西条ら[25] が最大光合成量の測定値に光条件を入れて計算して求めた伊勢

Table 3. 我が国の内湾，沿岸および沖合域において測定された有光層内の積算平均クロロフィル *a* 濃度と水柱あたりクロロフィル*a*量，および純生産量
Comparison of the average concentration and amount of chlorophyll *a* in the euphotic zone and net production in various waters of Japan.

Area	Period	Average Chl *a* concentration μg/*l*	Chl *a* amount ㎎/㎡	Net production mean (range) gC/㎡/day	References
Shijiki Bay	May 1983 ～ May 1984	0.39 3.91	3.7 91.2	0.80(0.04-2.04)	Present study
Ariake-kai	Aug. 1978	4.2-13.8	50-107		KIMOTO(1984)[22]
	Dec. 1978	3.4-11.7	38-147		
	Mar. 1979	2.3-33.3	47-220		
	June 1979	2.0- 8.5	56-123		
	Sep. 1979	5.0-17.8	48-165	2.22(0.58-4.01)	
	Dec. 1979	2.7- 6.7	24-150	0.58(0.05-1.06)	
	Mar. 1980	1.5- 4.4	9- 27	0.26(0.07-0.43)	
	June 1980	3.8- 9.2	24-116	2.14(1.62-3.14)	
Ise Bay	1972-1973		46-130	1.36(0.29-4.49)	SAIJO *et al.* (1978)[25]
Mikawa Bay	1972-1973		55-123	1.45(0.50-2.72)	SAIJO *et al.* (1978)[25]
Seto Inland Sea					
Bingo-nada	1962-1963	0.2- 7.3		0.33(0.03-1.21)*	ENDO (1970)[5]
Suo nada	1983		2.7-45.9	0.38(0.22-0.54)**	YAMAGUCHI & ANRAKU(1984)[7]
Sagami Bay	1966-1968		20- 60	0.2-1.5*	SHIMURA & ICHIMURA(1972)[26]
Kuroshio					
Pelagic area	1957-1958	0.08-0.56		0.07-0.15*	ICHIMURA & SAIJO (1959)[2]
Coastal region	1957-1958	0.4- 2.1		0.3-0.5*	ICHIMURA & SAIJO (1959)[2]
Oyashio					
Off Honshu	1957-1958	0.4- 0.7		0.2-0.4*	SAIJO & ICHIMURA (1960)[3]

Production measured by ^{14}C(*) and ^{13}C(**) method, each value being similar to gross prodution rate per daytime.

湾および三河湾における基礎生産量のおおよそ半分であり，内湾である瀬戸内海備後灘[5] や周防灘[7] での基礎生産量の 0.03〜1.21 g C/㎡/day に匹敵するものであった（Table 3)．これに対し，日本周辺の沿岸域で得られている基礎生産量は生産層が100 m にも及ぶ黒潮の沿岸域[2] や相模湾[26] で0.3〜1.5 g C/㎡/day，外洋の黒潮域の 0.07〜0.15 g C/㎡/day[2] や，親潮域の 0.2〜0.4 g C/㎡/day[3] であり，志々伎湾の基礎生産力は単位面積あたりとしてこれらと同じ程度かより高い結果であった．これらのことから志々伎湾は，沿岸水の影響を強く受ける開放的な小湾ながらも内湾に近い高い基礎生産力を持っていることが明らかとなった．

謝　　辞

報告のとりまとめにあたって懇切なご教示をいただいた西海区水産研究所古賀文洋氏ならびに宇野史郎氏に謝意を表する．また，調査にあたって多大の御協力をいただいた西海区水産研究所調査船陽光丸の乗組員および志々伎漁業協同組合の各位に厚くお礼申し上げる．

要　約

西九州の一小湾である長崎県平戸島志々伎湾における植物プランクトン現存量と基礎生産量を把握するため，1983年5月から1984年5月にかけてクロロフィル a の測定及び酸素法による光合成量の現場測定を実施した．

志々伎湾におけるクロロフィル a 濃度は 0.1〜4.6 $\mu g/l$ の範囲にあった．湾内におけるクロロフィル a の水平分布はほぼ一様であった．鉛直的には夏季の成層期には底層で高かった．有光層の平均クロロフィル a 濃度は季節的に変化し，春と秋に多かった．

表層における単位クロロフィル a あたりの光合成速度の極大は1.5〜3.5m層にみられ，その値は 1.8〜20.5mgC/mgChl$a$/h と外洋域に比べて高かった．水柱あたりの純生産量は 0.04〜2.04gC/m²/day（平均0.80gC/m²/day）であり，沿岸域におけるこれまでの測定値と同様であった．志々伎湾全体の平均的植物プランクトン現存量は，炭素量に換算して8.7トンであり，また年間基礎生産量は炭素量で2,860トンと見積られた．

文　献

1）E. Steeman Nielsen　1952: The use of radioactive carbon (C^{14}) for measuring organic production in the sea. *J. Cons. int. Explo. Mer.*, **18**, 117-140.

2）S. Ichimura and Y. Saijo　1959: Chlorophyll content and primary production of the Kuroshio off the southern midcoast of Japan. *Bot. Mag. Tokyo*, **72**, 193-202.

3）Y. Saijo and S. Ichimura　1960: Primary production in the northwestern Pacific ocean. *J. Oceangr. Soc. Japan*, **16**, 29-35.

4）松平康雄　1964：日本沿岸水域基礎生産力総合研究結果．日本プランクトン研究連絡会報，**11**，24-73．

5）遠藤拓郎　1970：瀬戸内海の一次生産に関する研究．広島大学水畜産学部紀要，(9)，177-221．

6）T. Hama, T. Miyazaki, Y. Ogawa, T. Iwakuma, M. Takahashi, A. Otsuki and S. Ichimura　1983: Measurement of photosynthetic production of marine phytoplankton population by using a stable ^{13}C isotope. *Mar. Biol.*, **73**, 31-36.

7）山口峰生・安楽正照　1984：瀬戸内海西部周防灘における基礎生産について．南西水研研報，(17)，135-149．

8）有賀祐勝・柴田佳明　1978：東京湾における植物プランクトンのクロロフィルと光合成活性の変動（1976〜1977）．1978年度日本海洋学会春期大会講演要旨集，204-205．

9）田中庸夫・佐野方昂　1980：三河湾における植物プランクトンの一次生産動態に関する一考察．日本プランクトン学会報，**27**，75-85．

10）木曾克裕　1980：平戸島志々伎湾の海底地形と海底堆積物の特徴．西水研研報，(54)，135-140．

11）海洋資料センター　1983：実用塩分と国際海水状態方程式．JODC ニュース，増刊号14，102pp.

12）西条八束　1975：クロロフィルの測定法．日本陸水学会誌，**36**，103-109．

13）伊藤栄樹・飯塚昭二　1979：螢光法によるクロロフィルa測定に必要な定数算出のための色素の単離法．長崎大学水産学部研究報告，(47)，1-4．

14）浜田七郎　1980：志々伎湾の海況特性．西水研研報，(54)，141-155．

15）J. D. H. Strickland and T. R. Parsons　1968: A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Canada*, (167), 311pp.

16）J. H. Ryther　1956: The measurement of primary production. *Limnol. Oceanogr.*, **1**, 72-84.

17）SCOR/UNESCO　1966: Determination of Photosynthetic pigments in seawater. *Monographs on Oceanographic Methodology* 1, UNESCO Publications Center, New York. 69pp.

18）Y. Aruga and M. Monsi　1963: Chlorophyll

amount as an indicator of matter productivity in bio-communities. *Plant & Cell Physiol.*, **4**, 29-39.

19) G. A. Riley 1965: A mathematical model of regional variations in plankton. *Limnol. Oceanogr.*, Supl. 10, R202-R215.

20) 山口征矢・柴田佳明　1979：東京湾における基礎生産の現況. 沿岸海洋研究ノート. **16**, 106-111.

21) 入江春彦・飯塚昭二・梶原　武　1965：長崎湾の基礎生産. 長崎大学水産学部研究報告, (19), 52-55.

22) 木元克則　1984：有明海における低次生物生産とそのエネルギー配分. 昭和58年度西海区ブロック浅海開発関係連絡会議要録, 86-100.

23) 木元克則・中嶋純子・森岡泰啓　1986：五島灘および志々伎湾におけるクロロフィルaの現存量と季節変化. 陽光丸調査研究報告, (9), 17-18.

24) E. Steeman Nielsen 1960: Productivity of the oceans. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, **11**, 341-362.

25) 西条八束・八木明彦・三田村緒佐武　1978：伊勢湾・三河湾の水質と基礎生産. 沿岸海洋研究ノート, **16**, 57-64.

26) S. Shimura and S. Ichimura 1972: Primary productivity in coastal water adjacent to the Kuroshio off Shimoda. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **28**, 8-17.

西水研研報　第64号，昭和62年3月
Bull. Seikai Reg. Fish. Res. Lab., No. 64, March 1987.

大阪湾における動物プランクトンの出現特性，現存量及び生産量

古　賀　文　洋*

The Occurrence Properties, Biomass and Proudction of Zooplankton in Osaka Bay, Eastern Seto Inland Sea.

Fumihiro KOGA*

Netzooplankton was collected in September, December 1984, March and June 1985, in Osaka Bay, eastern Seto Inland Sea by the vertical hauls of a conical net with 0.1 mm mesh opening. The distribution, abundance and seasonal succession and variation of species composition of biomass were analysed with reference to the environmental condition. The biomass and amount of carbon of the representative species were estimated through the length/weight and number of individuals method.

In the Bay surface salinity of water masses was closely related to the transparency and the depth of the sea. Temperature in the innermost area was higher than that in the entrance area in warm season, and lower than that in the latter in cold season. Cycles of low and high abundance of the species appeared to have connection with the seasonal temperature fluctuations at the surface. Relationships of species distribution to water masses may result from the reactions of species to salinity properties rather than to temperature.

The most abundant copepod species, *Microsetella norvegica* was concentrated in the central water (46,745 individuals/m^2) in September. In the same season, the number of *Oithona brevicornis* reached 42,662/m^2 in the innermost area. The abundant area of *Calanus sinicus* was found at the entrance of the Bay. The maximum number of the species, 3,682/m^2 was recorded in June. The biomass of this species occupied 11% of zooplankton biomass in the Bay.

The copepods biomass occupied at least 55% of the mean zooplankton biomass (4.0 g (1.8 g-C)/m^2) and was equivalent to 62% of the carbon value. When the zooplankton production estimated from hypothetical turnover rate based on the growth

昭和62年1月31日受理（Recieved January 31, 1987）
西海区水産研究所業績第438号（Contributions from the Seikai Regional Fisheries Reaserch Laboratory No. 438）
*西海区水産研究所 〒850 長崎市国分町49（Seikai Regional Fisheries Research Laboratory, Kokubu-machi, Nagasaki 850, Japan）

rate of *Calanus*, the annual and total production in Osaka Bay as a whole were estimated to be 65 g-C/m^2/Yr and 99 kiloton, respectively. In order to obtain the precise figure of production, it is important to use parameters based on food conversion efficiency of many species which have remained unsettled.

大阪湾は，瀬戸内海の東北部にあり，総面積 1,529 ㎢，平均水深27.5m， 総容積41.8㎦である．湾は，西部にある大きな淡路島で閉鎖されているが，島北部の明石海峡によって播磨灘に，島南東部にある由良瀬戸及び加田瀬戸から友ケ島水道，更に紀伊水道に通じている．北部から東部，特に，湾奥部の後背地に大都市を擁し，富栄養化の進んだ内湾である．湾内の漁業についてみるとプランクトン捕食者のイワシ類が年間約5万トン水揚げされ，全漁獲物の80%を占めている．

このような大阪湾における生物生産機構の中のネット動物プランクトンの分布，季節変化等の出現生態，現存量を把握し，更に，生産量を推定してその役割を検討した．

本研究は南西海区水産研究所において科学技術庁の振興調整費による海洋生物資源の生産能力と海洋環境に関する研究（第Ⅱ期）の一部として実施したものであり，調査に協力を戴いた南西水研しらふじ丸，小滝操船長をはじめ乗組員諸氏に厚くお礼申し上げる．

方　　　法

大阪湾の9定点（Fig. 1）においてネット（口計30 cm，円錐形ろ過部130cm，NXX13，目合0.1mm）の海底からの垂直揚網でプランクトンを採集した．1984年9，12月，1985年3，6月の四季のプランクトンについて種別の個体数計数及び体長（尾虫類では躯幹長）測定を行い，上に，弘田[17,18]の体長─体重換算式から現存量を求め，更に，種別の炭素量を算定した．生産量については，Cushing[5]の生産量評価中の最も短い平均寿命28日による仮定年間回転数13，生理代謝法として Ikeda and Motoda[19]，更に，摂餌同化法として Mullin and Brooks[31] の *Calanus* の摂餌生態と生産量との関係に基づくパラメーター等を使用した諸法で評価，比較し，簡易評価法について検討した．

環境要素として水温，塩分を TS 水質モニター（鶴見精機製）で，透明度を30cm透明度板で測定し，これらと主要種との関係をみた．

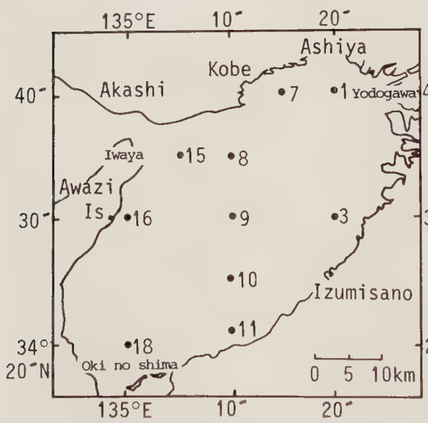


Fig. 1. 大阪湾における動物プランクトン調査点
Area of investigation and sampling stations in Osaka Bay.

結果と考察

Table 1. ネット動物プランクトン現存量中の種類
Members of net-zooplankton biomass

CRUSTACEA	ASCHELMINTHES
Branchiopoda	Rotatoria
Evadne tergestina CLAUS	*Synchaeta* sp.
Penilia avirostris DANA	
	CHAETOGNATHA
Copepoda	*Sagitta nagae* ALVARIÑO
Calanus sinicus BRODSKY	*S. crassa* TOKIOKA
Paracalanus parvus (CLAUS)	*S. crassa* f. *naikaiensis* TOKIOKA
Parvocalanus crassirostris (DAHL)	
Centropages abdominalis SATO	PROTOCHORDATA
Temora turbinata (DANA)	Appendicularia
Acartia omorii BRADFORD	*Oikoleura dioika* (FOL)
Corycaeus affinis McMURRICH	
Oithona brevicornis GIESBRECHT	Thaliacea
O. davisae FERRARI & ORSI	*Doliolum nationalis* BORGERT
O. similis CLAUS	
Oncaea media GIESBRECHT	Larval forms
Euterpina acutifrons (DANA)	Polychaeta larvae
Microsetella norvegica BOECK	

1. 出現種

大阪湾の主な動物プランクトンは輪虫類1，橈脚類13，枝脚類2，矢虫類3，尾虫類1，ウミタル類1の21種及び数種の多毛類幼生であった（Table 1）．このほかに *Sagitta enflata, Euchaeta plana, Centropages furcatus, Acartia erythraea, Tortanus forcipatus, Oncaea venusta, Lucifer reynaudi* などが短期間出現したが，極少数であり，除外した．主なプランクトンの出現及び増大期についてみると，夏—秋期増大種に *Sagitta nagae, Paracalanus parvus, Corycaeus affinis, Oikopleura dioika,* 秋期増大種に *Sagitta crassa naikaiensis, Evadne tergestina, Temora turbinata, Euterpina acutifrons, Microsetella norvegica,* 秋—冬期増大種に *Oithona brevicornis, Oithona davisae,* 冬期増大種に *Penilia avirostris, Parvocalanus crassirostris, Doliolum nationalis,* 冬—春期増大種に *Oncaea media,* 春期増大種に *Centropages abdominalis,* 春—夏期増大種に *Calanus sinicus, Synchaeta* sp., 春・秋期増大種に *Acartia omorii,* 冬—夏出現種に *Oithona similis* がみられ，夏—秋期増大種が約半数であった．このプラントン相は瀬戸内海東部水域[14,15]及び周防灘のもの[25]に類似していた．

これらの中の優占種について大阪湾における分布，季節変化等の出現特性を環境との関係から究明した．

2. 出現生態

(1) 生息環境

プランクトンの生息環境のうち外部要因の影響を受け易く，比較的に環境の特性をよく示す表層水の温度と塩分の地域差，季節変化をみた．

水温：3月には全般的に8℃を示したが，湾中央部ではやや高く，明石海峡ではやや低かった．6月には湾西部の淡路島沖で低く，最低水温は18.31℃，東部浅海域では高く，最高水温は21.82℃であった．9月には友ケ島水道の22.90℃，明石海峡域の23.38℃であり，湾口部で低かった．東部沿岸域から中央部及び湾奥部に高い温度域があり，最高は泉佐野沖の26.31℃であった．12月には湾奥部で低く，13.6℃であったが，湾口の沖ノ島沖で高く，17.36℃であった．全調査点の全観測層の平均水温は3月に8.2℃，6月に18.4℃，9月に22.9℃，12月に16.2℃であった．このように水温は6月及び9月には湾口部より湾奥部で比



Fig. 2. 大阪湾における表層水温（℃）の季節的分布
Seasonal distribution of temperature (℃) of the surface water in Osaka Bay.

較的に高く，９月の東部の泉佐野における26.3℃が最高であった．12月の水温は湾口部で湾奥部より高かった．３月の水温は湾全体に８℃台であり，均一な分布を示した（Fig. 2）．

塩分（実用塩分）：湾奥部の淀川沖で測定した塩分は３月に29.39，６月に28.81，９月に28.12，12月に29.89であり，常に低かった．湾口部の沖ノ島水域では３月に33.14，６月に32.76，９月に33.11，12月に33.40であり，常に高かった（Fig. 3）．



Fig. 3. 大阪湾における表層水の実用塩分の季節的分布
Seasonal distribution of practical salinity of the surface water in Osaka Bay.

各測点の年間平均値からみた表層塩分の分布特性は，湾奥部から湾口部にかけて次第に高くなる傾斜を示したが，明石海峡及び友ケ島からの流入水の影響のため塩分傾斜に多少の乱れがあった（Fig. 4）．

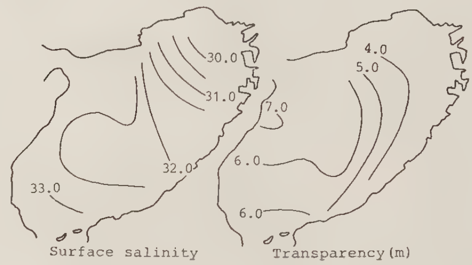


Fig. 4. 大阪湾における表層水の実用塩分（年間平均）と透明度（年間平均）の分布
Distribution of practical salinity (annual mean) of the surface water and transparency (annual mean) in Osaka Bay.

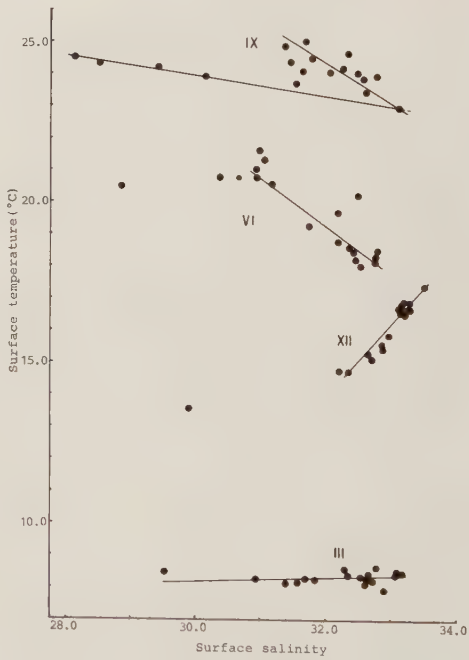


Fig. 5. 大阪湾における表層水の水温と塩分の季節変化を示すT-Sダイアグラム
Ⅸ：９月（1984）；Ⅻ：12月（1984）；Ⅲ：３月（1985）；Ⅵ：６月（1985）．
T-S diagrams show the seasonal fluctuations of temperatures and salinities of the surface water in Osaka Bay. Ⅸ：Sept. (1984)；Ⅻ：Dec. (1984)；Ⅲ：Mar. (1985)；Ⅵ：June (1985).

温度—塩分相関：9月には他季節に比較し，水温が高く，塩分が低い特性を示した．水域別にみると，湾奥部の低塩分水域の水温は高く，湾口部の高塩分水域の水温は低かった．この温度と塩分勾配には淀川河口沖及び泉佐野沖から友ケ島水域への二つの傾斜がみられた．6月の水温は9月のものより低く，湾奥部の低塩分域から湾口部の高塩分域への低下傾向を示した．12月には6，9月と異なり，低塩分の湾奥の水温が低く，高塩分の湾口部の水温が高い傾向を示した．3月の水温は最低で，全般に8℃台であり，温度傾斜がなかった．3月以後に低塩分の沿岸域の水温は上昇し，塩分と逆相関の温度傾斜になるものとみられる（Fig. 5）．このような大阪湾の環境特性は渡辺[40] によっても報告されている．

透明度：9月には淡路島東岸域に高く，最高7.5mであった．20m以浅の湾中央から東部沿岸域では低く，最も低かったのは芦屋沖の1.2mであった．12月には複雑な分布様相を示したが，全般的に他時期のものに比較し高かった．特に，高い水域は湾中央から北部であり，最高は9.8mであった．東部沿岸域では低かったが，最低でも4.8mであった．3月には淡路島東岸域に高く，最高9.0mで，最低値は大阪南港沖の3.0mであり，湾口から奥部に低下する傾斜がみられた．6月には最低値は奥部の1.8mで，高いのは中央部の5.0mであり，全般的に低かった（Fig. 6）．

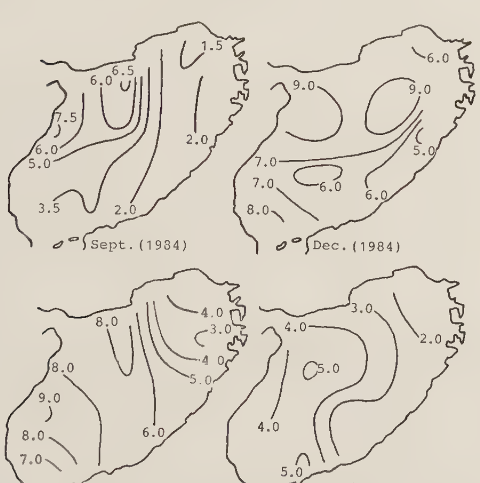


Fig. 6. 大阪湾における透明度（m）の季節変化
Seasonal distribution of transparency (m) in Osaka Bay.

透明度は季節によって変化するため観測点別年平均透明度によって湾内の透明度の水域特性を把握した．年間の平均透明度は，一般的にみて20m以浅の水域では5m以下で，最低値は湾奥部の3.4mであり，湾口部及び淡路島沿岸域に高く，最高値は7.0mであった．このように大阪湾の透明度は湾口部に高く，奥部で低かった．また，季節的には夏期に低く，冬期に高くなる傾向を示した（Fig. 4）．

透明度—塩分・水深相関：透明度はクロロフィルa量との相関を持つとみられているが，大阪湾では塩分及び水深と相関を示した（Fig. 7）．

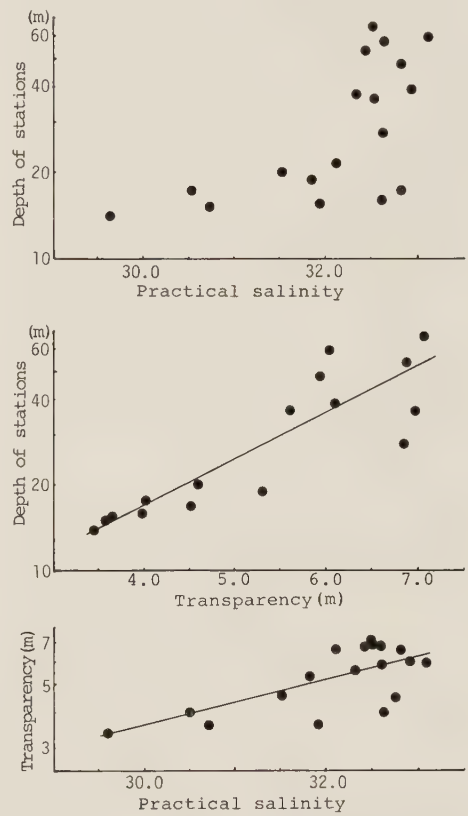


Fig. 7. 大阪湾における塩分，透明度と水深の相関
Relationships among the salinity, transparency and depth of the research stations.

年間平均透明度と平均表層塩分についてみると塩分が31以下の湾奥部では透明度が3—4m，塩分が32.5以上の水域では透明度は6—7mであり，これらの中間で塩分31—32.5の水域では透明度は5—6mであっ

た．透明度と塩分には次の関係がみられた．

$$Tr = 0.0135e^{0.1865S}$$

この式で Tr は透明度（m），S は塩分である．

平均透明度と水深についてみると透明度は20 m以浅では3　5 m，60 m以深では7 m以上であった．20—60 mの水深域では5—7 mであったが，この水深帯には複雑な水塊分布がみられ，必ずしも水深と透明度に明らかな相関がみられなかった．けれども，湾全体でみた透明度と水深には次の関係がみられた．

$$D = 4.0e^{0.3665Tr}$$

この式で Tr は透明度（m），D は水深（m）である．

水塊区分：大阪湾は西部水域と東部水域に大別されるが，塩分，温度，透明度等の分布から判断すると湾奥水域，東部浅海水域，中央混合水域，そして湾口部水域，すなわち，明石海峡水域及び友ケ島水域の5水域に区分される．更に，これらの外に湾西部に形成された小さな淡路島東岸混合水塊を加えると大阪湾は6水域に区分される．大崎他[33] は湾奥部と東部浅海部を一つにして本州側沿岸部，明石海峡—泉佐野沖を中央部，この両者間の水域を神戸—泉大津部とし，更に，由良瀬戸を含む南部海域に区分している．中央部については明石海峡域，泉佐野沖とこれらの中間部との間に差をみているが，流出入の大きな明石海峡域については特に考慮していない．

(2)　出現特性

i）分布　湾内の塩分には水温にみられるような季節的変化がないが，水域による特性があり，種の出現頻度はこの水域特性に対応するものである．

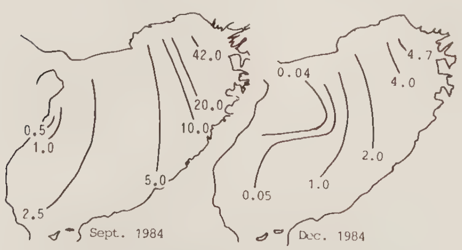


Fig. 8. *Oithona brevicornis* の分布
図中の数字は個体数（×10³/㎥）を示す
Seasonal distribution of *Oithona brevicornis*. Numerals in figure represent the abundance of individuals (no. ×10³/㎥).

湾奥水系種：*Oithona brevicornis* は9月に淀川沖に最大の42,662個体/㎥出現した．12月に最大数が4,731

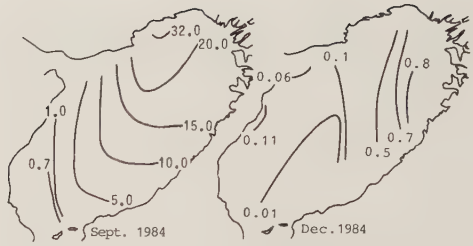


Fig. 9. *Oithona davisae* の分布（個体数×10³/㎥）
Distribution of *Oithona davisae* (no.×10³/㎥).

になり，3，6月にはほとんど出現しなかった．このことは周防灘における *O. brevicornis*（最大数48,973）の出現傾向に類似している（Fig. 8）．

Oithona davisae は9月に最大数32,549が芦屋沖に出現したが，12月には849に減少し，3月及び6月にはほとんど出現しなかった．これは *O. brevicornis* 同様の出現特性を持ち，個体数は湾奥部から湾口部にかけて減少する傾向を示した（Fig. 9）．

Synchaeta sp. は6月に湾奥部のみに卓越し，最大数は16,551であったが，この水域及びこの時期以外に出現しない特異な種である．

これらのほか湾奥部には *Oikopleura dioica, Evadne tergestina* など多数の種が出現した．

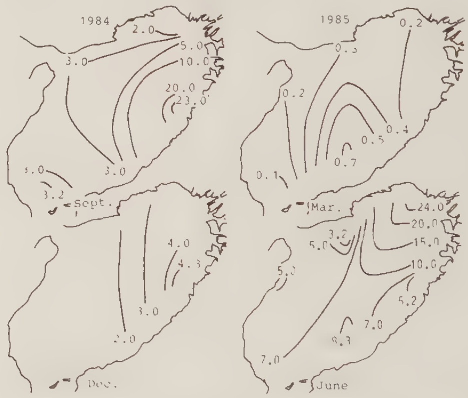


Fig. 10. *Paracalanus parvus* の季節的分布（個体数×10³/㎥）
Seasonal distribution of *Paracalanus parvus* (no.×10³/㎥).

湾奥—東部沿岸水系種：*Paracalanus parvus* は，湾奥から東部沿岸水域に優占し，最大数が6月に湾奥部に24,982，9月に東部水域に23,385出現したが，12月及び3月には減少した．しかし，12月でも東部水域に

は4,324出現し（Fig. 10），*Oithona similis* とともに優占種群を構成した．これは周防灘沿岸水の7月の最大数66,045[25]に比較し約1/3であった．

東部沿岸水系種：*Centropages abdominalis* は3月に最大でも943の少数が泉佐野沖のみに出現し，この浅海域の特性を示すものとみられる（Fig. 11—(1)）．

O. similis は9月に少数個体が湾西部に出現しているが，全般的にみると東部沿岸域に多かった．12月の4,486が3月には1,267となり，6月には最大数の4,962になった（Fig. 11—(2—4)）．

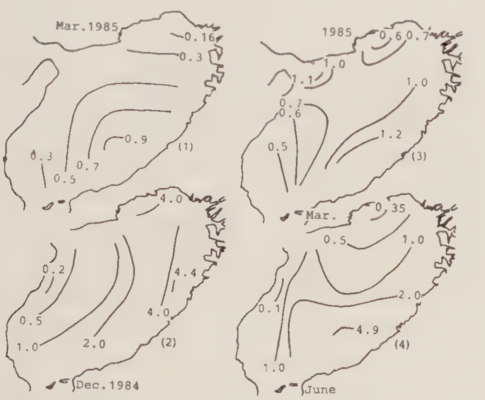


Fig. 11. *Centropages abdominalis* (1)と *Oithona similis* (2-4) の分布（個体数×10³/㎥）
Distribution of *Centropages abdominalis* (1) and *Oithona similis* (2 4)(no.×10³/㎥).

中央水系種：*Microsetella norvegica* は出現数が大阪湾のネット動物プランクトンの中で最も多かった種である．特に，湾中央部に多く，9月に最大46,745，12月に19,935出現したが，3月及び6月には減少した(Fig. 12)．本種は燧灘においても大阪湾や周防灘同様に夏から冬にかけて *Paracalanus* 及び *Oithona* とともに多数出現している[16]．大阪湾における出現数は，周防灘の10月の最大出現数31,476[25]より多いが，三河湾の375,032[21]，カナダ大西洋岸のフレンチマン湾の295,460[7]より少なかった．*M. norvegica* は広島湾[45]及び福岡湾[23]には高塩分水と低塩分水（富栄養沿岸水）との中間水域に多数出現する傾向がみられる．このような *M. norvegica* の分布特性から判断すると大阪湾では富栄養の沿岸水が周防灘よりも湾内に広く分布しているとみられる．

明石海峡水系種：*Oncaea media* は岩屋沖に比較的

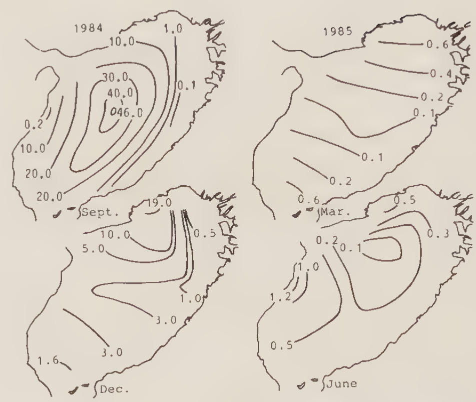


Fig. 12. *Microsetella norvegica* の季節的分布（個体数×10³/㎥）
Seasonal distribution of *Microsetella norvegica* (no. ×10³/㎥).

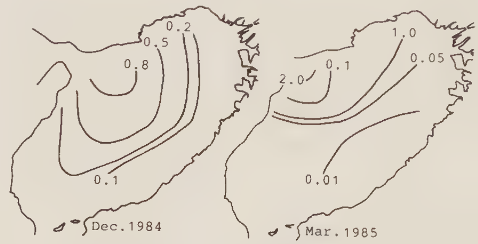


Fig. 13. *Oncaea media* の分布（個体数×10³/㎥）
Distribution of *Oncaea media* (no.×10³/㎥).

に多く，3月の優占種群であったが，最大出現数は2,063に過ぎなかった（Fig. 13）．*Acartia omorii* は，淡路島北東部から湾奥の北部に多く，3月には淡路島北東沿岸域に最大数の3,311個体が出現し，優占種群を形成した（Fig. 14）．

明石・友ケ島水系種：*Calanus sinicus* は6月の沖ノ島北部に3,682，更に，淡路島北東沿岸域に2,777の比較的多数個体が出現しており，明石海峡及び友ケ島水道域に関係を示す種である（Fig. 15—(2，3)）．本種は周防灘の北部において5月に約1,000，10月に1,653が出現しており，大阪湾の最大出現数は周防灘のその約3倍であった．本種は，3，6月，特に6月に多数のノープリウス及びコペポディド期の個体が採集されることからみると湾内では春—夏期に繁殖しているものと考えられる．出現数が少ないが，湾内の橈脚類の中では大型であり，年平均の動物プランクトン現存量の中では約11%を占める重要な種である．

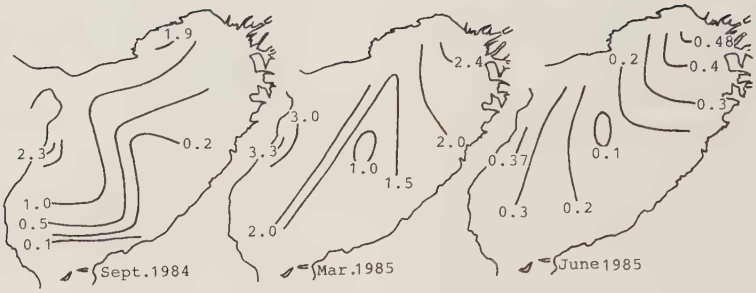


Fig. 14. *Acartia omorii* の分布（個体数×10³/㎥）
Distribution of *Acartia omorii* (no.×10³/㎥).

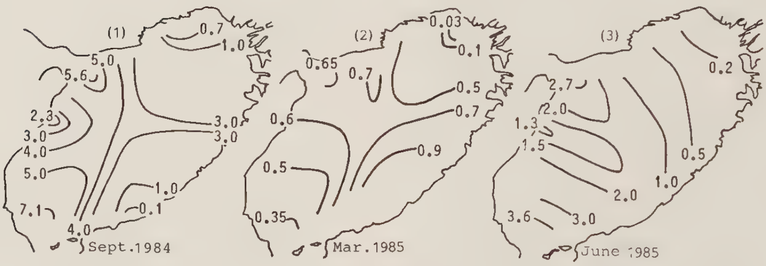


Fig. 15. *Temora turbinata*(1) 及び *Calanus sinicus* の分布（個体数×10³/㎥）
Distribution of *Temora turbinata* (1) and *Calanus sinicus* (2,3) (no.×10³/㎥).

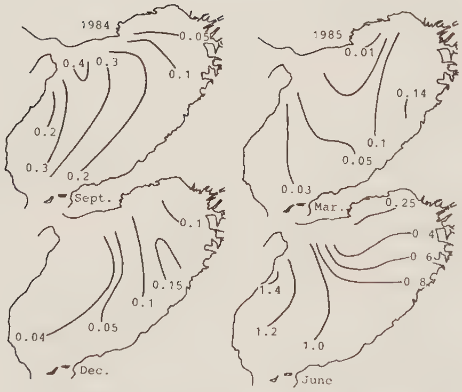


Fig. 16. *Corycaeus affinis* の季節的分布（個体数×10³/㎥）
Seasonal distribution of *Corycaeus affinis* (no.×10³/㎥).

Temora turbinata は9月に多く，最大数が沖ノ島北部の7,170であり，岩屋沖にも5,690出現した．しかし，他の時期にはほとんど出現しなかった．本種は *C. sinicus* 同様の分布様相を示し，湾内の水塊の特性に対応した分布様相を示した（Fig. 15—(1)）．

これらのほか *Corycaeus affinis* は出現数が少ないが，二つの湾口部に個体数が多い傾向を示した種であり，最大数は6月の1,418であった（Fig. 16）. 矢虫類の *Sagitta nagae* は6月に最大144であったが，二つの湾口から流入する傾向を示した．

ii）季節変化　湾内の全点全層が8℃台の均一な水温分布を示した3月についても湾内動物プランクトンには分布特性がみられた．このことからみると，主要種の温度別出現頻度は，湾内の温度分布に対する出現個体数の変化とみるより，むしろ，種の出現期の温度特性，すなわち出現種の季節変化を示すものである．湾内の出現種には出現個体数の分布相が年間を通して必ずしも一定ではなく，変化がみられるため，その出現期別の平均個体数/㎥で種の季節的出現特性をみた．

一般的にみると9月（秋期）には *O. davisae* (13,758)，*M. norvegica* (12,161)，*O. brevicornis* (10,280) などが多く，このほかに *P. parvus* (4,975)，*T. turbinata* (2,661) などがみられた．これらの種は12月（冬期）には著しく減少し，更に，3月（初春）の最低値まで減少した．この3月の出現傾向に比べ6月

（初夏）には多数種の個体数が増大しており，特に，*P. parvus* の増大が著しく，最大値(13,200)を示した．

主要種の季節的特性についてみると，*O. davisae* は9月に13,758であったが，12月に393になり，3月には消失した．このことから判断すると本種には秋期の水温下降期の20—25℃の狭い温度域に出現する特性がある．*M. norvegica* は9月に12,161，12月に7,895，3月に313，6月に316であり，秋期に増大するが，少数個体が周年出現する特性がある．*O. brevicornis* は9月に10,230，12月に2,791，3月に191，6月に266であり，*M. norvegica* 同様に秋期に増大し，少数個体が周年出現する特性がある．*P. parvus* は9月の4,975から12月に2,791になり，3月の339まで減少したが，6月には13,200まで増大した．本種は周年出現するが，水温15—20℃の初夏に増大する特性を持つとみられる．*T. turbinata* は9月のみに2,661出現しており，秋期に短期間出現し，消失する特性がある．*C. sinicus* は3月に571の少数出現し，6月に1,719まで増大したが，9月には消失しており，低水温期から初夏に増大する特性を持つ．

(3)　種の環境適性

動物プランクトン出現期及び分布をみると，湾奥部に9月に優占した *Oithona brevicornis*, *O. davisae*, 湾奥－東部沿岸部に6月に優占した *Paracalanus parvus*，中央部に9月に優占した *Microsetella norvegica*, 湾口部の明石海峡域に比較的に多かった *Oncaea media*, *Acartia omorii*，明石海峡及び友ケ島域の両湾口部に多かった *Calanus sinicus*，湾西部には9月に多かった *Temora turbinata* など主要種はほとんど橈脚類であった．これらの種の出現生態を前記の温度，塩分などの環境特性で解析した．

温度適性：四季に対応した年4回の採集標本によって5℃幅の温度域に出現した平均個体数の頻度から種の特性をみた（Fig. 17, Table 2）．

5—10℃の低水温に優占して出現する主要種はいないが，*C. sinicus* の25%がこの範囲に出現した．出現数は少ないが，*Centropages abdominalis* はこの低水温のみに出現した．

10—15℃の温度域には *Oithona similis* の過半数の60%が出現した．本種は，このほか15—20℃に24%，5—10℃に16%出現しており，10—15℃を中心に5—20℃の範囲に出現する特性がある．



Fig. 17. 主要種の温度別出現頻度
Frequency of occurrence of common species (annual mean abundance) in relation to temperature.
1 : ***Oithona similis***; 2 : ***Calanus sinicus***; 3 : ***Paracalanus parvus***; 4 : ***Microsetella norvegica***; 5 : ***Oithona brevicornis***; 6 : ***Oithona davisae***; 7 : ***Temora turbinata***

15—20℃の温度域には *C. sinicus* の75%が出現した．本種は，このほか5—10℃に25%出現しており，20℃以下に出現する特性を持つ．*P. parvus* は，この温度域に62%，20—25℃に23%，10—15℃に13%みら

Table 2. 主要種の塩分及び温度別出現頻度（個体数/㎥）
Frequency of common species in relation to salinities and temperatures (no./㎥).

	Temp.(℃)		Salinity			
			27.5-30.0	30.0-32.5	32.5-35.0	Mean
Oithona brevicornis	Sept.	20-25	24,538	3,361	2,941	10,280(76.0%)
	Dec.	10-15	4,731	2,762	880	2,791(20.6%)
	Mar.	5-10	—	246	135	191(1.4%)
	June	15-20	—	266	—	266(2.0%)
	Mean		14,635(83.1%)	1,659(9.4%)	1,319(7.5%)	
Oithona davisae	Sept.	20-25	26,608	10,461	4,205	13,758(97.2%)
	Dec.	10-15	788	110	282	393(2.8%)
	Mar. -June		—	—	—	
	Mean		13,698(64.5%)	5,286(24.9%)	2,244(10.6%)	
Paracalanus parvus	Sept.	20-25	2,157	9,764	3,005	4,975(23.4%)
	Dec.	10-15	3,436	2,895	1,905	2,745(12.9%)
	Mar.	5-10	—	352	326	339(1,6%)
	June	15-20	24,982	7,429	7,190	13,200(62.1%)
	Mean		10,192(55.4%)	5,110(27.7%)	3,107(16.9%)	
Oithona similis	Sept.		—	—	—	
	Dec.	10-15	3,407	4,127	1,544	3,026(60.0%)
	Mar.	5-10	—	784	845	815(16.2%)
	June	15-20	1,410	1,160	1,030	1,200(23.8%)
	Mean		2,409(43.2%)	2,024(36.3%)	1,140(20.5%)	
Microsetella norvegica	Sept.	20-25	4,880	15,650	15,953	12,161(58.8%)
	Dec.	10-15	479	19,935	3,270	7,895(38.2%)
	Mar.	5-10	—	380	246	313(1.5%)
	June	15-20	304	375	268	316(1.5%)
	Mean		1,888(11.9%)	9,085(57.1%)	4,934(31.0%)	
Calanus sinicus	Sept. -Dec.		—	—	—	
	Mar.	5-10	—	490	651	571(24.9%)
	June	15-20	177	1,292	3,687	1,719(75.1%)
	Mean		177(5.4%)	891(27.5%)	2,169(67.0%)	
Temora turbinata	Sept.	20-25	686	2,976	4,322	2,661(100%)
	Dec -June		—	—	—	
	Mean		686(8.6%)	2,976(37.3%)	4,322(54.1%)	

れ，5—25℃の範囲に出現するが，15℃以上において出現が増大する特性を持つものとみられる。

20—25℃の温度域には比較的に多くの種が優占して出現した．*M. norvegica* はこの温度域に59%，10 15℃に38%出現した．採集回数が種の温度特性解析のために適正でないが，これらと周防灘の10月の水温20—22℃に多数出現したことなどから判断して本種は多数出現した20—25℃の中でも低い温度に出現の適正値があるものとみられる．*O. brevicornis* は，20—25℃に76%出現しているが，10—15℃にも21%みられ，また，周防灘に *M. norvegica* 同様10月に多数出現したことなどから判断して20-25℃の低いほうに出現の適正値があるものと考えられる．*O. davisae* は20—25℃に97% 出現しており，これが好適水温とみられる．*T. turbinata* は，20—25℃に100%出現しており，適温域が狭く，期間の短い出現特性を示した．

塩分適性：30以下の低塩分域（湾奥部），32.5以上の高塩分域（湾口部），及び30.0—32.5の中間域に区

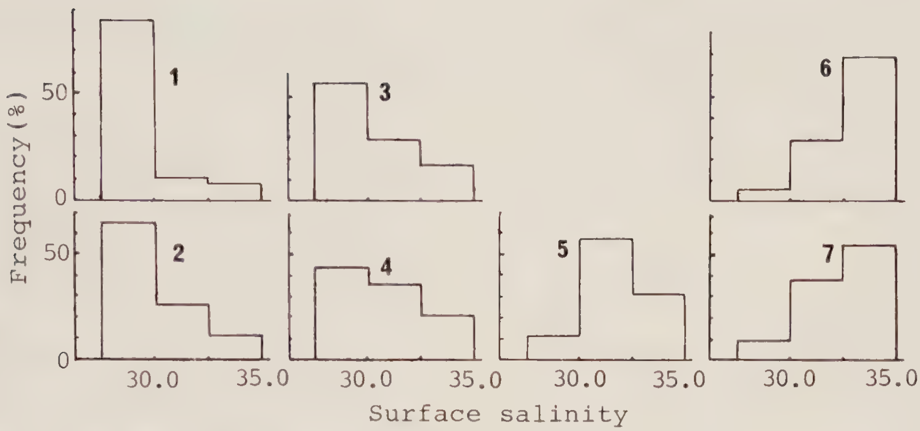


Fig. 18. 主要種の塩分別出現頻度
Frequency of occurrence of common species (annual mean abundance) in relation to salinities.
1 : *Oithona brevicornis;* 2 : *Oithona davisae;* 3 : *Paracalanus parvus;* 4 : *Oithona similis;*
5 : *Microsetella norvegica;* 6 : *Calanus sinicus;* 7 : *Temora turbinata*

分した塩分に対する種特性をみた(Fig. 18, Table 2).

27.5—30.0の低塩分域に *O. brevicornis* は総数の83%が出現し，30.0—32.5に 9%，32.5—35.0に 8%の出現頻度を示し，主要種の中で最も低塩分を好む種とみられる．*O. davisae* の出現頻度は，この低塩分域に65%，30.0—32.5に25%，32.5—35.0に11%みられ，低塩分を好む特性を持つ．このほか *P. parvus* の出現頻度はこの塩分域に55%，30.0—32.5に28%，32.5—35.0に17%で，*O. simillis* の出現頻度はこの塩分域に43%，30.0—32.5に36%，32.5—35.0に21%であり，比較的に低塩分を好む特性がみられた．

調査点別個体数についてみると9月の *O. brevicornis* は湾奥部の約43,000個体/m²が湾口部では約2,000個体に，*O. davisae* は約33,000個体から1,000個体に6月の *P. parvus* は約25,000個体から約2,000個体に減少し，湾内塩分分布と逆相関を示した (Fig. 19).

30.0—32.5の塩分域に *M. norvegica* は，57%出現し，32.5—35.0に31%，27.5—30.0に12%の出現頻度を示し，30.0より高い塩分を好む特性を持つ．

32.5—35.0の高塩分域に *C. sinicus* は，67%出現したが，このほか30.0—32.5に28%，27.5—30.0に5%の出現頻度であり，*O. brevicornis* と反対に最も高塩分を好む特性を示した．*T. turbinata* もこの塩分域に54%，30.0—32.5に37%，27.5—30.0に9%の出現頻度であり，高塩分を好む特性を示した．

調査点別個体数についてみると湾口部に多かった9月の *T. turbinata* の約7,200個体，また，6月の *C. sinicus* の約4,000個体が，湾奥部でそれぞれ約700，約200個体に減少し，塩分分布と相関を示した(Fig. 20).

Bary[4] によると英国沿岸域のプランクトンの出現と分布特性は季節的な温度変化及び塩分への依存より水塊の T-S 特性に関係するとみられている．しかし，大阪湾の動物プランクトンには湾内水塊の季節的な温度(T)—塩分(S) ダイアグラムの特性に明らかに関係する出現特性[4]がみられず，むしろ，前述の湾内水の季節的な温度変化及び塩分分布に対応した季節変化及び分布を示すものとみられる．

3. 現存量及び生産量

(1) 現存量

大阪湾における動物プランクトンの現存量 (Table 3) は，9月に7,790mg (3,656mg-C)/m²であり，この中で56%の4,324mg (2,047mg-C) の過半数を橈脚類が占め，34%の2,682mg (1,373mg-C) は多毛類幼生であった．橈脚類には多くの優占種がみられ，*Microsetella* が49%の2,121mg (1,058mg-C)，*Temora* が27%の1,171mg (509mg-C)，*Paracalanus* が14%の593mg (280mg-C) であった．12月の現存量は3,658mg (1,027mg-C) であり，この中で49.5%の1,809mg (173mg-C) が



Fig. 19. 大阪湾における主要種の出現数と塩分との負相関
Relationships of abundance of common species to salinities in Osaka Bay

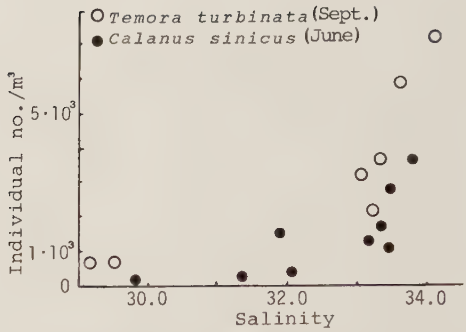


Fig. 20. 大阪湾における主要種の出現数と塩分との正相関
Relationships of abundance of common species to temperatures in Osaka Bay.

Doliolum nationalis, 31.0%の1,135mg (556mg-C) が橈脚類であった．この中で69%の781mg (390mg-C) が *Microsetella*, 22%の248mg (117mg-C) が *Paracalanus* であった．3月の現存量は比較的に少なく，911mg(406 mg-C) であり，72%の653mg (290mg-C) が橈脚類，14%の 126mg (52mg-C) が矢虫類であった．橈脚類の中では *Acartia* が40%の264mg (116mg-C)，*Calanus* が24%の159mg (69mg-C)，*Centropages* が16%の107mg (46mg-C) であった．6月の現存量は3,905mg (1,775mg -C) で，74%の2,882mg (1,305mg-C) が橈脚類，12%の472mg (242mg-C) が多毛類幼生であった (Fig. 21)．橈脚類の中では *Calanus* が57%の1,654mg (729mg-C)，*Paracalanus* が35%の1,009mg (475mg-C) であった．

年間平均現存量は 4,066mg (1,716mg-C)/m² であ

Table 3. 個体数及び長さ/重量比で求めた大阪湾ネット動物プランクトン現存量（乾重量，mg/m²）と炭素量 (mg-C/m²)
Net zooplankton biomass (dry weight, mg/m²) and carbon value (mg-C/m²) in Osaka Bay estimated through the length/weight and number of individual technique.

Date	Sept. 16-17		Dec. 4-5		Mar. 20-21		June 17-18		Average	
Temp.(°C)	22.86		16.24		8.15		18.42			
Biomass	Dry wt.	Carbon	Dry wt.	Carbon	Dry wt.	Carbon	Dry wt.	Carbon	Dry wt.	Crbon
Rotatoria	—	—	—	—	—	—	42.1	21.0	10.5	5.3
Sagittoidea	314.7	131.6	670.2	280.1	125.5	52.4	316.6	132.3	356.7	149.1
Cladocera	15.4	7.3	2.6	1.2	—	—	—	—	4.5	2.1
Copepoda	4,323.9	2,047.0	1,134.9	556.2	652.5	290.4	2,882.0	1,304.5	2,248.3	1,049.5
Appendicularia	179.3	70.3	41.5	16.3	39.6	15.6	192.0	75.2	113.1	44.3
Doliolida	274.8	26.3	1,808.8	172.9	—	—	—	—	520.9	49.8
Polychaeta larvae	2,681.8	1,373.1	—	—	93.1	47.6	472.4	241.9	811.8	415.7
Total	7,789.9	3,655.6	3,658.0	1,026.7	910.7	406.0	3,905.1	1,774.9	4,065.8	1,715.8

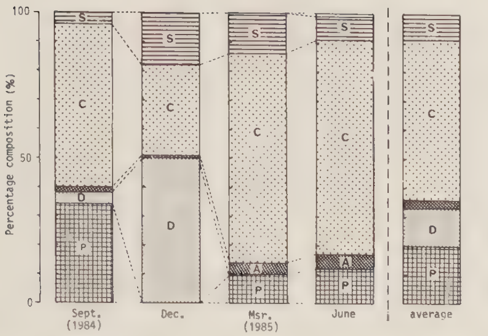


Fig. 21. 大阪湾動物プランクトン現存量の主要種類の季節的構成変化
Seasonal changes of composition of major organisms in zooplankton biomass in Osaka Bay.
S : Sagittoidea; C : Copepoda; A : Appendicularia; D : Dolioida; P : Polychaeta.

り，この中の55.3%（2,248mg），炭素量では61.2%（1,050mg-C）が橈脚類であった．次に多毛類幼生が多く，現存量では総量の20.0%（812mg），炭素量では24.2%（416mg-C）であった．ウミタル類は，総現存量の12.8%（521mg）であったが，炭素量では2.9%（50mg-C）で，さらに少なく，周防灘における現存量（総量の81%（7,287mg））に比較し極めて少なかった．矢虫類は，現存量ではウミタル類より少なく，総量の8.8%（357mg）であるが，炭素量では8.7%（149mg-C）であり，ウミタル類より多かった．尾虫類は現存量が113mg，炭素量が44mg-C で，いずれも総量の約3%であった．枝脚類は現存量が5mg，炭素量が2mg-C であり，いずれも総量の0.1%に過ぎなかった．夏期，淀川河口域のみに多数出現した輪虫類は現存量が11mg，炭素量が5mg-C で，いずれも総量の0.3%に過ぎないが，枝脚類より多かった．平均現存量の過半数を占める橈脚類についてみると *Microsetella* が33.5%の752mg（375mg-C），*Paracalanus* が21%の474mg（223mg-C），*Calanus* が20.5%の460mg（203mg-C），*Temora* が13%の293mg（128mg C）であった．

大阪湾の現存量は，1979年には2,046.8mg/m²で，この32%が橈脚類であった[20]．今回の現存量はその約2倍，橈脚類は3.4倍であった．瀬戸内海中央部の備後一燧灘では現存量は4,393.6mg，橈脚類は42%[16]であり，大阪湾のものに近い値であった．周防灘の現存量（9,011.2mg/m²）は81%が *Doliolum denticulata*（ウミタル），17%が橈脚類で，これと比較した大阪湾の現存量は約1/2，橈脚類は3/2であった．このように瀬戸内海でも水域によって種及び現存量の構成に差がみられた．世界各水域の現存量の0.65g-C〜9.76g-C/m²[5] に比較し大阪湾のそれが低い水域に相当するのは大阪湾の平均水深が27.5mと浅いことによるものとみられる．

4. 生産量の簡易評価

現存量（B）と生産量（日間生産量 dP，年間生産量 aP）との間には種々の関係がみられる．日間回転率（daily turnover rate，dP : B）は現存量の日間の同化，成長，生産率である．回転期間（turnover time，B : dP）は回転率の逆数で，現存量の形成期間，すなわち，日間生産量が年平均現存量と等量になる期間であり，平均寿命（mean life span）または世代期間（mean generation time）を示す．年間回転効率（annual turnover ratio，aP : B）は年間世代数，すなわち，平均現存量の年間の出現回数である．

現存量は比較的容易に，しかもかなり高い精度で把握されるため，これに基づくパラメーターから生産量を推定することができる．例えば，現存量とその年間の回転期間（世代数，平均寿命）による生産量評価報告等[2,5,25,34] である．単一種では平均寿命は成体数と若い成体数との関係，すなわち，単位時間の新加入群数[44]及び生命表分析によって得られる．更に，年間世代数はコホート（同一発生群）の生涯生産量と平均現存量との関係などから得られる[1,32,42]．けれども，動物プランクトン群集では構成種の大部分の個体群生態が不明で，それらの把握が困難である．日間生産率（日間成長率，日間回転率＝dP/B）を把握する方法に等間隔採集標本[13]，採集動物の一定時間の恒温飼育，等間隔採集物中の発育段階標本によるグラフ的方法[6,9,26,37,43,44]，摂餌から日間成長率を把握するもの[10,30,35]などがある．これらの方法では，1時期の1調査点の生産量評価に多数の採集標本が必要であり，更に，採集時の潮時変化，飼育時のへい死等が影響し，成長率の把握が困難である．

以上のことから判断すると動物プランクトン生産量の簡易評価法にはいかに矛盾の少ないパラメターを適用するかが重要であり，それを検討した．

(1) 平均寿命（年間世代数）法

年間の世代数は，種によって3－8世代数の報告があり[29]，同一種についても *Acartia clausi* のように2－7世代が報告され[39]，水温などの環境の差による年間世代数の変化があり，パラメターの設定が難しい．大阪湾の動物プランクトンには *Synchaeta* sp. などのように極めて世代期間の短い種，橈脚類のコペポディド期などの若い世代が多数出現している．このため CUSHING[5] の報告中のアジア，モンスーン域の最も短い世代期間（平均寿命）28日（年間回転率，13回）によって大阪湾の生産量を推定した．この大阪湾ネット動物プランクトンの年間生産量は53.0ｇ/㎡/Yr で，炭素量では22.4ｇ-C/㎡/Yr であった．

(2) 生理代謝法

多毛類の幼生などのように一時期を臨時プランクトンとして過す種類を含む動物プランクトンの生産量評価には，不確定要素の多い寿命，年間世代数による評価法より個体の呼吸，同化代謝による方法が論理的と考えられ，次の二法によって生産量を推定した．

呼吸代謝法[19]：この法による大阪湾ネット動物プランクトンの年間生産量は114.8ｇ-C/㎡/Yr で，平均寿命法による評価値の約5倍であり，橈脚類の構成割合は62%から82%になった．

この生産量では動物プランクトンの回転期間（世代期間）は5.63日であり，1979年の3.57日[20]に近く，CUSHING[5] による橈脚類の最も短い期間の22日に比較するとかなり短かった．短い回転期間（世代期間）を持つ種は南東大西洋の中型動物プランクトンの2.8日，*Salpa fusiformis*（タリア類）の0.7日[26]，チェザピーク湾の *Acartia clausi*（橈脚類）の2.5日[13] などである．けれども，このような短い世代の種類は，回転期間（世代期間）が0.5日，平均回転数（年間世代数）が243回，日間回転率（日間生産率）が65%である成長の速い微小動物プランクトン[26]などに類似した特性を持つものであるとみられる．微小動物プランクトンより大きいネット動物プランクトンについてみると，数日間に成体まで成長する種は少なく，また，高い回転率がみられてもそれは増殖期間のものであり，増殖期間以外の期間及び非出現期を含む年間の回転率はそれより低いものになる．以上のことからネット動物プランクトンの簡易生産量推定にはさらに適正な回転率の検討が必要である．

同化代謝法（摂餌同化法）：現存量（個体体重×個数）の摂餌量（F＝現存量B×摂餌率f）と増重量（または，成長量，生産量（P））との関係，すなわち，餌料転換効率（E：food conversion efficiency），（E＝P/(B×f)）の把握によって現存量から直接生産量が推定でき，生産量の簡易評価法になる．

しかし，日間の成長及び産卵量（日間生産量 dP）と体重（現存量B）との関係，すなわち，日間回転率（日間生産量）は，野外の餌の少ない環礁の橈脚類では0.8—4.3%[10] であり，室内飼育の *Calanus pacificus* では餌の制限時に3－6%，平均4%，餌の無制限時に11--16%，平均13%である[31]．*Tigriopus japonicus* は餌の制限時に増重，産卵がみられず（日間生産量—0，回転率—0），餌の無制限状態に日間成長量は体重の48%になる[24]．このように日間回転率には餌条件のみでなく，*C. pacificus* に比較し *T. japonicus* の成長が速く，世代期間が短いことなどにみられるように種による差もある．更に，野外では動物プランクトンの餌の量が変動しており，特に，繁殖期の餌不足は産卵（生産）に影響を与える[27]．このためこれらの生産量の正確な評価は生態系モデルによらなければならない．また，生産量の単位についてもマーシャル群島のエニウエタク環礁の動物プランクトンの成長率（日間回転率）は摂餌量と呼吸による炭素量及び排泄窒素量との関係から評価されているが，両者の測定値に差があり[10]，注意を要する．

以上のことから判断し，大阪湾の動物プランクトン現存量中11%を占める *Calanus sinicus* の近縁種であり，比較的によく研究されている *C. pacificus* の摂餌生態に基づき炭素量による生産量の簡易評価法を検討してみた．

炭素量でみた *Calanus* の餌料転換効率は餌の量と無関係に41%であるが，日間摂餌率（(F/B)×100）は餌の条件で異なり，6.8—41.9%の変化がある．*Calanus* の日間回転率は3—16%で，16%が飽食時の最大回転数である[31]．摂餌には日間のリズムがある[12]が，餌の少ない時にその飽和現象がなく，摂餌能力以上の餌の量で飽食現象が生じる[8,11,24,28,37,40,44,46]．この時の同化炭素量は飽食量より低い水準で一定になる[3]．この飽食現象は自然界では大阪湾のような富栄養化した内湾域の餌料藻類の増大時に生じるものとみられる．

餌料制限時の *Calanus* の日間回転率3－4%は平均寿命28日で求めた回転率3.6%に相当する．呼吸代

謝法で求めた回転率17.8%は餌の無制限時における *Calanus* の回転率11—16%に近い値である．このことから動物プランクトンの生産量は Mullin and Brooks[31] による回転率3—16%，すなわち，10±6%の範囲で評価される．けれども，回転率には *Tigriopus* のようにこの範囲を超える例があり，その範囲が必ずしも一定ではない．また，富栄養化し，赤潮の発生する大阪湾では動物プランクトンに対する餌が無制限にあるとみられるが，この状態が年間継続するとは考えられず，回転率を *Calanus* のものの中央値（10%）に固定し，生産量の評価を試みた．

回転率を10%に固定すると，摂餌率（f=(F/B)×100）は24.4%，回転期間（B/dP）は10.0日，年間回転率は36.5になる．これから大阪湾の動物プランクトン生産量は日間171.58mg-C/㎡/day，年間62,626.7mg-C/㎡/Yr と評価され，湾の総生産量は95,756 t-C になる．この中の過半数の61.2%（58,571 t-C）が橈脚類であり，このほか，24.2%（23,200 t-C）が多毛類，8.7%（8,321 t-C）が矢虫類，2.9%（2,779 t-C）がウミタル類，2.6%（2,472 t-C）が尾虫類，0.3%（296 t-C）が輪虫類，0.1%（117 t-C）が枝脚類であった．この生産量は平均寿命法の評価値の約3倍，Ikeda and Motoda[19] 法による評価値の約1/2であり，城・宇野[20] による74.3 g-C/㎡/Yr に近い値である（Table 4）．

この摂餌—増重による生産量の評価法は現場法による動物プランクトン，魚類等の生産量測定の論拠になるものでもあり，更に，多くの種について摂餌生態，増重率の研究，飼料転換効率の把握の必要がある．

5．日間生産率の比較

大阪湾の生産量と現存量の関係，すなわち，日間生産率をみると，平均寿命（世代期間，28日）法の推定生産量では日間生産率は3.6%，年間世代数は13，摂餌代謝法の生産量では日間生産率は10%，平均寿命は10日，年間世代数は36.5，呼吸代謝法[19] の生産量では日間生産率は18%，平均寿命は5.6日，年間世代数は65.2日である（Table 5）．

世界各水域における日間生産率は0.7—2.0%，平均寿命は28—68日，年間世代数は2.7—9.7[5] であり，これらは大阪湾のものより低かった．逆に，高い生産率はチェザピーク湾の *Acartia*（橈脚類）の日間生産率40%，平均寿命2.5日，年間世代数145[13] であった．東大西洋熱帯水域の中型プランクトン生産量の日間生産率は5—78%の範囲である[26]．これから平均寿命は1.3—20日，年間世代数は18.3—284.7になり，全体的に大阪湾のものより高かった．また，オアフ島の *Acrocalanus*（橈脚類）[22] 及び1979年の大阪湾動物プランクトン[20] などは今回の大阪湾の評価値に比較し，やや高い日間生産率を示した．北海の橈脚類などの動物プランクトンの日間生産率は4—14%，平均寿命は7—25日，年間世代数は14.6—51.1[9] であり，この下限は平均寿命法の値に，上限は呼吸代謝法の値に相当した．摂餌同化法の値はその平均的なものとみられる．この比較に用いた値は単位面積の海底から水面までの水柱当りのものであり，水深の差を含むことを考

Table 4. Mullin and Brooks に基づく同化法によって求めた大阪湾ネットプランクトン年間生産量
Annual net-zooplankton production in Osaka Bay calculated by assimiration method (Mullin and Brooks[31]).

	Dry wt., g/㎡	Carbon, g/㎡	Dry wt., ton/whole Bay (%)	Carbon, ton/whole Bay (%)
Rotatoria	0.383	0.193	586.0(0.2)	295.8(0.3)
Sagittoidea	13.020	5.442	19,906.9(8.8)	8,321.0(8.7)
Cladocera	0.164	0.077	251.1(0.1)	117.2(0.1)
Copepoda	82.063	38.307	125,474.3(55.3)	58,571.0(61.2)
Appendicularia	4.128	1.617	6,311.9(2.8)	2,472.3(2.6)
Dolioida	19.013	1.818	29,070.6(12.8)	2,779.3(2.9)
Polychaeta larvae	29.631	15.173	45,305.3(20.0)	23,199.6(24.2)
Total	148.402	62.627	226,906.1(100.0)	95,756.2(100.0)

Area of the Bay is 1529 ㎢.

Table 5. 各水域の動物プランクトン生産量（炭素量），日間生産力（日間回転率，dP : B），現存量（炭素量）の回転期間（平均寿命，T. T.=B : dP），年間回転効率（年間世代数，T. R.=aP : B），及び転送効率（基礎生産に対する動物プランクトン生産比率，T. E.=ZP : PP）

Review of literature on carbon production of zooplankton, daily productivity (daily turnover rate, dP : B), ternover time of carbon biomass (mean life span, T. T.=B : dP), annual turnover ratio (number of generation per year, T. R.=aP : B), and transfer efficiency (ratio of zooplankton production to primary poroduction, T. E.=ZP : PP).

Animal	Region	dP : B	T. T.	T. R. (T. E.)	References
Acartia (copepod)	Chesapeake Bay	0.397	2.52	144.84	HEINLE[13]
Calanus (copepod)	Off La Jolla	0.11-0.16		(0.01-0.22)	MULLIN & BROOKS[31]
(non effect of foods)		x̄=0.133	7.52	48.55	
				(0.069)	
Calanus	”	0.03-0.06		(0.002-0.11)	”
(effect of foods)		x̄=0.039	25.64	14.24(0.033)	
Secondary production	Various area	0.007-0.019	28-68	2.65-9.67	CUSHING[5]
				(0.03-0.3)	
		x̄=0.0153	46.54	4.58	
Mixed copepods	Mediterranean	0.04-03	3.33-25	14.6-109.5	GAUDY[9]
”	North Sea	0.04-0.14	7.14-25	14.6-51.1	
Herbivour	Mediterranean	0.114-0.18	5.56-8.77	41.6-65.7	”
(Mixed zooplankton?)	North Sea	0.09	11.11	32.85	
Mesozooplankton	Easten tropical	0.05-0.78	1.28-20.0	18.3-284.71	LE BORGNE[26]
	Atlantic Ocean	x̄=0.35	2.86	127.75	
Salpa (Thaliacea)	”	1.526	0.66	557.0	
Acrocalanus	Kaneohe Bay	0.07-0.32	3.13-14.3	25.6-116.8	KIMMERER[22]
(copepod)	(Oahu, Hawaii)	x̄=0.204	4.9	74.46	
Pseudodiaptomus	Central part of	-0.108+0.014T		-39.42+5.11T	UYE et al[37]
(copepod)	Seto Inland Sea				
Zooplankton	OsakaBay	0.09-0.44	2.27-11.11	32.85-160.6	JOH & UNO[20]
		x̄=0.28	3.57	102.2(0.084)	
Mixed copepods	Inshore area	0.03-0.36	2.78-33.33	11.0-131.4	UYE[38]
				(0.01-0.08)	
Assimiration method	Osaka Bay	0.10	10.0	36.5(0.039)	This study
(grazing rate 10%)*[1]					
Generation methods*[2]	”	0.036	28.0	13.0(0.014)	”
Respiration method*[3]	”	0.18	5.56	65.2(0.071)	”

*[1] : after MULLIN and BROOKS (1970b)[31]
*[2] : after CUSHING (1971)[5]
*[3] : after IKEDA and MOTODA (1978)[19]

原していなければならない．

大阪湾の動物プランクトン生産量（ZP）と基礎生産量（PP，x̄=4.43 g-C/m²/day）*との関係，すなわち，転送効率（transfer efficiency，ZP : PP）は，平均寿命（28日）法によるものでは1.4%，呼吸代謝法によるものでは7.1%，摂餌同化法によるものでは3.9%である．これらは城・宇野[20]による8.4%よりやや低く，南カリフォルニア沖の橈脚類の6.9及び3.3%[31]，各地の沿岸域における橈脚類の1－8%[38]に相当した（Table 5）．世界各水域の動物プランクトンの転送

*山口峰生：日本水産学会昭和61年度秋季大会講演要旨集，pp. 74.

効率は3—30%の範囲にあるが，基礎生産量と捕食者との相関[36]からみると高い基礎生産を示す大阪湾では低い値である．しかし，大阪湾の基礎生産についてみると渡辺[41]は1974—1978年間の7月の平均クロロフィルaが80μg/lを超える水域を図示しており，山口*によると浮遊性単細胞藻類の最大現存量が1,021mg chl-a./m²であり，日間平均基礎生産量は4.43g-C/m²である．大阪湾では基礎生産が高く，それに対する動物プランクトン生産量の比率の低下は，転送効率が基礎生産の増大に伴う低下傾向を示すこと[5]に該当している．更に，大阪湾には動物プランクトンのほか植物プランクトンも餌とする種類のイワシ類が多いことなどから判断するとその効率は不自然な値ではなく，両者が湾全体で246万t-C*の高い基礎生産を有効に利用していると考えられる．

以上のことから *Calanus* の摂餌同化率による大阪湾の動物プランクトン生産量の評価法は適正な簡易法であると考えられる．この評価法の精度向上のためにはさらに動物プランクトン個体群の摂餌生態，増重率等の関係を解明していかなければならない．

摘　　要

大阪湾は沿岸域に大都市を擁し，富栄養化した内湾である．漁業ではプランクトン捕食者のイワシ類が全漁獲の80%を占め，年間約5万t水揚げされている．この湾で1984—1985年の四季に，垂直揚網で採集，計測したプランクトンの種別の個体数及び体長から出現生態及び現存量を把握し，生産量を推定し，生物生産機構の中の動物プランクトンの役割を検討した．

一般環境：水温は6月及び9月には湾口部より奥部で高く，最高水温は9月の泉佐野沖の26.3℃であった．12月には湾口部で奥部より高くなった．3月の水温は低く，湾全体に8℃台の均一な分布であり，湾内水の垂直混合が盛んなことを示した．

塩分分布は，比較的に低い湾奥部（最低，6月，28.8）から湾口部（最高，12月，33.4）にかけて次第に高くなる傾向を示した．しかし，明石海峡及び友ケ島水道からの流入水の影響のためこの塩分傾向に多少の乱れがあった．

透明度は湾奥部では低く，1—2mであり，逆に湾口部では高く，8—10mであった．また，塩分との相関がみられ，塩分同様の分布特性を示した．

主要種の分布及び季節変化：湾奥水域には *Oithona brevicornis* が9月の淀川沖に最大の42,662/m³個体，*Synchaeta* sp. は6月の湾奥部のみに16,551個体出現した．湾奥—東部沿岸水域には *Paracalanus parvus* が優占しており，6月に24,982個体，9月に23,385個体出現した．3月に出現した *Centropages abdominalis* は，出現数が少ないが，東部沿岸水域に比較的に多数分布し，この沿岸水の特性を示すものとみられる．中央水域には *Microsetella norvegica* が優占し，9月に最大46,745個体，12月に19,935個体出現した．明石海峡域には *Oncaea media* 及び *Acartia omorii* が比較的に多く，*Calanus sinicus* は湾口部の明石海峡及び友ケ島水道域に比較的に多数出現した種である．*Temora turbinata* は，9月に湾口部に比較的に多く，湾内水塊の特性に対応した分布様相を示した．

環境との関係では，一般的に，大阪湾の動物プランクトンの分布は塩分に，季節変化は温度に依存する種特性があるものとみられる．

現存量：9月には7,790mg（3,656mg-C)/m²で，この中の56%の4,324（2,047mg-C）が橈脚類，34%の2,682mg（1,373mg-C）が多毛類幼生であった．12月には3,658mg（1,027mg-C）で，この49.5%の1,809mg（173mg-C）が *Doliolum nationalis*，31.0%の1,135mg（556mg-C）が橈脚類であった．3月には911mg（406mg-C）で，この72%の653mg（290mg-C）が橈脚類，14%の126mg（52mg-C）が矢虫類であった．6月には3,905mg（1,775mg-C）であり，この74%の2,882mg（1,305mg-C）が橈脚類，12%の472mg（242mg-C）が多毛類幼生であった．年間平均現存量は4,066mg（1,716mg-C）で，この中の55.3%の2,248mg（炭素量では61.2%，1,050mg-C）が橈脚類，20.0%の812mg（416mg-C）が多毛類幼生であった．年平均現存量の過半数を占める橈脚類では *Microsetella* が752mgの34%，*Paracalanus* が474mgの21%，*Calanus* が460mgの20.5%，*Temora* が293mgの13%であった．

生産量：平均寿命の28日から評価した日生産量は

61.3mg-C/m²/day であり，この時の日間回転率は3.57%，年間回転効率は13，転送効率は1.4%であった．IKEDA and MOTODA[19] 法から評価した生産量は 314.5 mg-C/m²/day であり，日間回転率は17.8%，回転期間は5.6日，年間回転効率は65.2，転送効率は7.1%であり，微小動物プランクトン同様に平均世代期間は短く，前者の約5倍であった．摂餌同化法で評価した生産量では日間回転率は10であり，回転効率（36.5），転送効率（3.9%）等についても前記2法の評価値の中間値であった．

大阪湾現存量の11%を占める *Calanus* の摂餌生態[31] に基づく日間回転率10%から求めた生産量は 171.58mg-C/m²/day，62.6g-C/m²/Yr である．湾総生産量は95,756 t-C で，この中の58.571 t-C が橈脚類，23,200 t-C が多毛類，8,321 t-C が矢虫類，2,779 t-C がウミタル類，2,472 t-C が尾虫類，296 t-C が輪虫類，117 t-C が枝脚類であった．この時の転渓送効率は，3.9%であり，大阪湾の高い基礎生産のため各水域の効率の3—30%範囲[5] の中で低い値を示した．

文　献

1) ALLEN, K. R. 1971 : Relation between production and biomass. *J. Fish. Rea. Bd. Can.*, **28**, 1573-1581.

2) BANSE, K. and S. MOSHER 1980 : Adult body mass annual production/biomass relationships of field populations. *Ecol. Monogr.*, **50** (3), 355-379.

3) BARTHEL, K. G. 1983 : Food uptake and growth efficiency of *Eurytemora affinis* (Copepoda : Calanoida). *Mar. Biol.*, **74**, 269-274.

4) BARY, B. M. 1964 : Temperature, salinity and plankton in the eastern North Atlantic and coastal waters of Britain, 1957. Ⅳ. The species' relationship to the water body ; its role in distribution and in selecting and using indicator species. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, **21** (1), 183-202.

5) CUSHING, D. H. 1971 : Upwelling and the production of fish. *Adv. Mar. Biol.*, **9**, 255-334.

6) DURBIN, E. G. and A. G. DURBIN 1981 : Standing stock and estimated production rates of phytoplankton and zooplankton in Narragansett Bay, Rhode Island. *Estuaries*, **4** (1), 24-41.

7) FISH, C. J. 1955 : Observations of the biology of *Microsetella norvegica*. *Deep-sea Res.*, **3**, 242-249.

8) FROST, B. W. 1982 : Effects of size and concentration of food particles on the feeding behavior of the marine copepod *Calanus pacificus*. *Limnol. Oceanogr.*, **17**, 805-815.

9) GAUDY, P. R. 1976 : Etude de plankton de la zone de la rade Villefranche-sur-Mer a la fin de printemps (17 Mai 71 an 16 Juin 71). Ⅲ. Production secondaire des copepodes pelagiques. *Vie Millieu*, ser. B, **26** (1), 77-106.

10) GERBER, R. P. and M. B. GERBER 1979 : Ingestion of natural particulate organic matter and subsequent assimilation, respiration and growth by tropical lagoon zooplankton. *Mar. Biol.*, **52**, 33-43.

11) HASETT, P. P. and LANDRY, M. R. 1983 : Effects of food-level acclimation on digestive enzyme activities and feeding behavior of *Calanus pacificus*. *Mar. Biol.*, **75**, 47-55.

12) HEAD, E. J. H., L. R. HARRIS and C. ABOU DEBS 1985 : Effect of day length and food concentration on in situ diurnal feeding rhythms in Arctic copepods. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **24**, 281-288.

13) HEINLE, D. R. 1966 : Production of a calanoid copepod, *Acartia tonsa*, in the Patuxent river estuary. *Chesapeake Sci.*, **7** (2), 59-74.

14) HIROTA, R. 1968 : Zooplankton investigations in the Setonasikai (Inland Sea of Japan), Ⅱ. Occurrence of zooplankton in the eastern half of the Setonaikai in September, 1963. *Jour. Oceanogr. Soc. Japan*, **24** (5), 212-219.

15) HIROTA, R. 1969 : Zooplankton investigations

in the Setonaikai (Inland Sea of Japan), Ⅲ. Occurrence of zooplankton in the sea region from Iyo-nada in the winter of 1964. *Jour. Oceanogr. Soc. Japan*, **25** (3), 19-26.

16) Hirota, R. 1977 : Zooplankton. pp. 299-308. In "JIBP SYNTHESIS 1977 Tokyo Vol. 14, Productivity of biocenoses in coastal region of Japan". (Ed. K. Hogetsu et al.), Univ. Tokyo Press, Tokyo.

17) 弘田礼一郎　1981：瀬戸内海における重要動物プランクトンの乾燥重量と化学組成，日本プランクトン学会報，**28** (1)，19-24.

18) 弘田礼一郎　1985：動物プランクトンの体長／体重関係，炭素量，ライフスパン．海洋生物資源の生産能力と海洋環境に関する研究（第Ⅰ期）成績報告書，科学技術庁研究調整局，pp. 243—250.

19) Ikeda, I. and S. Motoda 1978 : Estimated zooplankton production and their ammonia excretion in the Kuroshio and adjacent seas. *Fish. Bull.*, **76** (2), 357-367.

20) 城　久・宇野史郎，1983：大阪湾における動物プランクトンの現存量とそれから見積もられる生産量．日本プランクトン学会報．**30** (1)，41-51.

21) 門田定美・広海十郎　1983：動物プランクトン．内湾底泥をめぐる物質収支の動態解明に関する研究　五年間の研究成果　東海水研他，　pp. 112-121.

22) Kimmerer, W. J. 1983 : Direct measurement of the production : biomass ratio of subtropical calanoid copepod *Acrocalanus inermis*. *J. Plankton Res.*, **5** (1), 1-4.

23) 古賀文洋・渡辺一民・大隈　迪，1974：魚類の初期餌料としての動物プランクトンの大量培養の研究—Ⅰ．Copepoda の出現生態．昭和47年度福岡水試研報，pp. 104-115.

24) 古賀文洋　1977：魚類の初期餌料としての動物プランクトンの大量培養の研究—Ⅳ．*Tigriopus japonicus* の高密度培養中の産卵生態に及ぼす餌料と密度効果の研究．昭和50年度福岡水試研報，pp. 89-100.

25) 古賀文洋　1986：周防灘における動物プランクトンの出現特性及び生産量．南西水研研報，**20**，91-113.

26) Le Borgne, B. 1982 : Zooplankton production in the eastern tropical Atlantic Ocean : net growth efficiency and P : B in terms of carbon, nitrogen, and phosphorous. *Limnol. Oceanogr.*, **27** (4), 681-698.

27) Marshall, S. M., A. G. Nicholls and A. P. Orr 1934 : On the biology of *Calanus finmarchicus* V : Seasonal distribution, size, weight and chemical composition in Loch Striven 1933 and their relation to the phytoplankton, *J. Mar. Biol. Assoc., U. K.*, **19**, 793-828.

28) Mayzaud, P. and S. A. Poulet 1978 : The importance of the time factor in the response of zooplankton to varying concentrations of naturally occurring particulate matter. *Limnol. Oceanogr.*, **23** (6), 1144-1154.

29) McLaren, I. A. 1978 : Generation lengths of some temperature marine copepods : estimation, prediction, and implications. *J. Fish. Board Can.*, **35**, 1330-1342.

30) Mullin, M. M. and E. R. Books 1970a : Growth and metabolism of two planktonic marine copepods as influenced by temperature and type of food. pp. 74-95. In "Marine food chain" (ed. J. H. Steele), Oliver & Boyd, Edinburg.

31) Mullin, M. M. and E. R. Brooks 1970b : The ecology of the plankton off La Jolla, California, in the period April through September, 1967 (ed. J. D. H. Strickland) Part Ⅶ Production of the planktonic copepod, *Calanus helgolandicus*. *Bull. Scripps Inst. Oceanogr.*, **17**, 89-109.

32) Neess, J. and R. C. Dugdale 1959 : Computation of production for populations of aquatic midge larvae. *Ecology*, **40** (3), 425-430.

33) 大崎紘一・菊池　進・緒方正名・奥田久徳・酒井恒美・三宅与志雄　1984：海水成分項目からみた瀬戸内海の灘内海域特性．海と空，**59** (3-4)，139-148.

34) Stross, R. G., Neess, J. C. and Hasler, A. D. 1961 : Turnover time and production of

planktonic crustacea in limed and refence portions of a bog lake. *Ecology*, **42**, 237–245.

35) Taguchi, S. and H. Ishii 1974 : Shipboard experiments on respiretion, excretion, and grasping of *Calanus cristatus* and *C. plumchrus* (Copepoda) in the northern North Pacific. In "Biological Oceanography of the Northern Pacific Ocean" (Ed. A. Y. Takenouti et al.), pp. 419–431, Idemitsu Shoten, Tokyo.

36) Taniguchi, A. 1973 : Phytoplankton–zooplankton relationships in the western Pacific Ocean and adjacent Seas. *Mar. Biol.*, 21, 115–121.

37) Uye, S., Y. Iwai and S. Kasahara 1983: Growth and production of the inshore marine copepod *Pseudodiaptomus marinus* in the central part of the Inland Sea of Japan. *Mar. Biol.*, 73, 91–98.

38) 上 真一 1984：内湾性かいあし類の個体群動態と生産に関する研究. 日本海洋学会誌, **40** (2), 163–174.

39) 上田拓史 1978：内湾性かいあし類の世代解析—特に *Acartia clausi* について. 日本プランクトン学会報, **25** (1), 55–62.

40) Vanderploeg, H. A., D. Scavia and J. R. Liebig 1984 : Feeding rate of *Diaptomus sinicus* and its relation to selectivity and effective food concentration in algal mixtures and Lake Michigan. *J. Plankton Res.*, **6** (6), 919–941.

41) 渡辺志伸 1980：大阪湾の定期観測からみた平均的海況. 神戸海洋気象台報, 189, 1–13.

42) Waters, T. F. 1969 : The turnover ratio in production ecology of fresh water invertebrates. *Amer. Natur.*, **103** (930), 173–185.

43) Williams, R. and J. A. Lindley 1980 : Plankton of the Fladen Ground during FLEX 76 III. Vertical distribution, population dynamics and production of *Calanus finmarchicus* (Crustacea : Copepoda). *Mar. Biol.*, **60**, 47–56.

44) Winberg, G. G. 1971 : Methods for the estimation of production of aquatic animals (ed. by G. G. Williams. Translated from Russian by A. Duncan), Academic Press, London and New York, xii+175pp.

46) Yamazi, I. 1952 : Plankton investigation in inlet waters along the coast of Japan V. The plankton of Hiroshima Bay in the Seto-naikai (Inland Sea). *Publ. Seto Mar. Biol. Lab.*, II (2), 319–330.

46) Yen, J. 1985 : Selective predation by the carnivorous marine copepod *Euchaeta elongata*: laboratory measurements of predation rates verified by field observations of temporal and spatial feeding paterns. *Limnol. Oceanogr.*, **30** (3), 577–597.

Food Requirement of the Flounder Larvae and Possible Distribution Pattern of the Prey Organisms in the Waters Adjacent to Hirado Island, Kyushu

Yasuhiro MORIOKA*, Junko NAKASHIMA* and Katsunori KIMOTO*

A comparison between the food requirement and the turn over rate of stomach full of the larval flounder, *Paralichhtys olivaceus* (TEMMININCK et SCHLEGEL), known as "Hirame" in Japanese, showed that the larvae with vacant stomachs are actually famished in a natural environment. It was deduced from the capability of searching food and feeding success of the larva, that the mean density of prey organisms is too low to fulfill the food demand during 50 days after hatching. Neverthless some of the larvae manage to get enough food. This would mean that the distribution of prey organisms is not uniform. A possible pattern of the spatial micro-distribution of prey organisms was suggested; the volume of the aggregation of the tiny organisms or swarm was estimated to be 3 952 liters.

Quantitative relationship between fish larvae and prey organisms has long been considered to influence the survival and growth of larval fish.[1,2] Food conditions for survival and normal growth were discussed from different view points; physiological approaches,[2,3] feeding experiments,[4-8] and theoretical considerations.[9] From these it was suggested that the larvae require a higher density of food organisms than that found at sea.[2,10] HUNTER,[3] however, stated that the patchy distribution of prey organisms may settle the problem on early larva feeding, and TANAKA[10] stressed the importance of surveying the spatial micro-distribution of larval forms and prey organisms.

The authors observed the high scarcity of contents in the stomachs of pelagic larvae of flounder (*Paralichthys olivaceus* (TEMMINCK et SCHLEGEI), "Hirame" in Japanese) taken from the northernmost area of the East China Sea to the west of Nagasaki Prefecture during spring. Food conditions required by the fish larvae community in the area and season under observation are discussed based on the results obtained and previous physio-ecological works.

昭和62年1月14日受理 (Recieved January 14, 1987)
西海区水産研究所業績第435号 (Contributions from the Seikai Regional Fisheries Research Laboratory, No. 435)
*Seikai Regional Fisheries Research Laboratory, Kokubu-machi, Nagasaki 850, Japan (森岡泰啓・中嶋純子・木元克則, 西海区水産研究所 〒850 長崎市国分町49)

Stomach Content Analyses

Fish larva net oblique tows and plankton nets vertical hauls were carried out in Nagasaki waters in early May from 1982 to 1985. The result of stomach content analyses showed that many larvae of the Hirame flounder had very low contents and it admitted annual variation (Table 1). The advanced stages of copepodite in micro-calanoids such as *Ctenocalanus*, *Paracalanus*, *Clausocalanus* and *Acartia*, copepod nauplii, cladoceren *Penilia*, ova of crustaceans, and sometimes appendicularian *Oikopleura* were observed in some stomachs. In four years of survey individuals with full stomach were hardly observed. The percentage of larvae with vacant stomachs higher during the earlier developmental stages, and exceeded 50% in individuals smaller than 4mm in total length (Fig. 1). The qualification vacant stomach was taken as an entirely empty stomach without any trace of content. The fact above is of interest in finding the food strategy of larvae.

Table 1. Rate of vacant stomachs in Hirame flounder larvae caught by oblique tows with the larva net (130 cm in mouth dia., 0.5mm mesh aperture) upper 50m layer of Nagasaki waters, May 1982–1985.

Date	Day		Twilight		Night		Total	
	N	%	N	%	N	%	N	%
May 6—7, 1982	47	81.5	18	94.4	16	100	81	90.1
May 6—7, 1983	243	56.8	49	98.0	0		292	63.7
May 7—9, 1984	486	35.6	17	31.7	63	35.3	566	35.2
May 12—13, 1985	736	29.8	0		0		736	29.8

N : Number of Hirame larvae examined

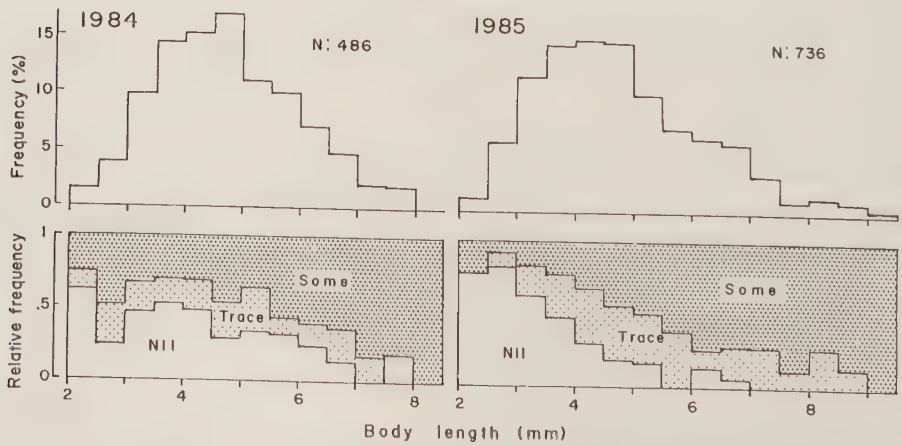


Fig. 1. Frequency distribution of body length (upper) and relative frequency of three grades of amount of stomach contents (lower) in Hirame flounder larvae in Nagasaki waters, May 1984 and 1985.

Food Intake and Stomach Evacuation

Value of stomach full in Hirame larvae ranging from 3 to 40% of body weight was obtained by YASUNAGA[11] in 6-50 days old individuals reared under sufficient food of rotifer *Brachionus plicatilis* and nauplius of brine shrimp *Artemia salina*. These values seem to be scattered in comparison with the ones in the larval forms

Table 2. Stomach full percentages of body weight in the larval stage of various fish from the previous works.

Species	Body size	Food	Tempereature (°C)	Stomach full (%)	Reference
Paralichthys olivaceus	0.3—1.2mg*	Rotifer	14—21	3—21	YASUNAGA[11]
Paralichthys olivaceus	2—49mg*	*Artemia*	14—21	13—40	YASUNAGA[11]
Pagrus major	3—5mm**	Rotifer		4—5	FUSHIMI[12]
Pagrus major	5—7mm**	Copepods		6—7	FUSHIMI[12]
Pagrus major	7—70mg*	*Tigriopus*	21—22	11—14	KITAJIMA[13]
Pagrus major	0.3—14mg*	Rotifer	17—20	7—11	KITAJIMA *et al*[14]

* In wet weight
** In total body length

of red sea bream (Table 2). Here we adopt the value of 10-20% for the flounder larva.

During the pelagic life of 80 days, under some physiological assumptions at the standard metabolism[15] and carbon/dry weight ratio of zooplankton is 0.4[16], the daily food requirement of the larva is 20-45% of the body weight, when active metabolism is 2-3 times the standard one[7,17,18] and assimilation efficiency of food is 0.8.[18] Therefore, to fulfill the daily food requirement, it is needed for the larva to have a turn over rate in the stomach of 1-4.5 (20-45%/10-20%) times a day.

The Hirame larvae smaller than 4mm in body length took 2 hours and half at 14-21°C[11] to digest the rotifers. The red sea bream larvae of 4.2-5.2mm took one hour or more at 17.7-19.2°C (MASUMURA unpublished, cited from FUSHIMI[12]). On the hand, YASUNAGA[11] reported that Hirame larvae required 3-5 hours to digest the *Artemia* nauplii at the age of 20-26 days at 14-25°C. To digest the *Artemia* nauplii herring larvae took 7-8 hours at 9°C.[19] It seems that rotifers and the like, however, are not available for Hirame larva in the natural envrionment. As for copepod nauplius, noting their similarity to *Artemia*, the Hirame larva's digesting time at the present enviroment of temperature 17-18°C can be reasonably assumed to be 3-5 hours. Feeding time in the flat fish larvae is restricted in the day hours (winter flounder,[7] Hirame,[20] Table 1). The turn over rate of the stomach full is computed to be, therefore, 2.4-4.0 a day when they perform continuous feeding on copepod nauplii for 12 hours a day. These values well coincide with those of the

daily turn over frequencies of the Hirame stomach to satisfy its food requirement. This means that Hirame larva without stomach contents should be hungry.

Production of Prey Organisms

Table 3 shows the plankton biomass obtained by vertical hauls from the bottom to the surface with 3 mesh sized plankton nets. Among these 100 μm mesh collections are the organisms that most likely represent the Hirame stomachs. The 100

Table 3. Plankton biomass obtained by vertical hauls from the bottom to the surface with 45 cm diameter plankton nets of 3 mesh sizes in Nagasaki waters, May 1982 1985.

Date	335μm			200μm			100μm		
	N	Mean	SD	N	Mean	SD	N	Mean	SD
May 6–7, 1982							18	141.8	55.7
May 6–7, 1983	14	69.3	36.8				14	266.0	138.7
May 7–9, 1984	13	122.7	33.7	19	131.9	68.5	19	223.6	98.7
May 12–13, 1985	19	105.1	42.7	19	156.1	56.5	19	173.5	61.6

N : Number of plankton samples
SD : Standard deviation

μm biomass in wet weight ranged from 150 to 250 mg per 1 m³ in round number with a variation according to year. This level may somewhat be overestimated because a certain amount of diatoms and detrital material are included in the plankton collections. Assuming that these are negligible and water content of zooplankton is 0.8,[21] zooplankton biomass is calculated to be 30-50 mg in dry weight per $1m^3$. Assuming again that the ratio of production to biomass, P/B ratio, of 100 μm plankters is 0.1 a day[22] (slightly underestimated as a value of that in *Paracalanus* and *Acartia* of about 500 μg in dry weight at the ambient temperature of 17-18°C), daily zooplankton production is to be 3-5mg in dry weight per $1m^3$.

The harvest of this level is capable to carry 3-12 individuals of Hirame larva in a water mass of $1m^3$, because the mean amount of food requirement of the larva during its pelagic stages is 0.4-0.9mg dry weight per day including active metabolism.[15] The distribution density of fish larvae including Hirame in the season and place concerned ranged from 0.1 to 0.5 and 0.3 in average per $1m^3$. Assuming that fish larvae other than Hirame require the same amount of food, it is noteworthy that zooplankton production in the present waters far exceeds the food demand of fish larvae.

Availability of Food Organisms

The volume of water needed to supply the daily demand of prey animals by the larva, 0.4-0.9mg in dry weight, is calculated as 8-30 liters ((0.4-0.9mg) $\times$ 1,000 $l \div$ (30-50mg)), if it does not miss to search and bite the ambient prey organisms. Taking into account its capability of searching the prey and feeding success presented by BLAXTER and STAINES[23] (figs. 6-b, 8), the Hirame larva may be able to sweep the volume sufficiently in its later stages but incompletely in its earlier stages.

For this pourpose the authors try to discuss in detail the relationship between the larva food requirement and the distribution of prey organisms. Table 4 gives

Table 4. Food strategy of Hirame flounder larvae and possible distribution pattern of their prey organisms in Nagasaki waters (weight is on dry basis).

	Days after hatching				Remarks
	10	20	30	50	
(A) Body weight (μg)	84.5	171	345	1410	MORIOKA[15]
(B) Food requirement (μg/day)	17—38	34—77	69—155	282—635	See text
(C) Search volume (l/day (12 hrs))	3	10	17	28	Plaice (BLAXTER & STAINES[23])
(D) Feeding success rate	0.4	0.5	0.6	0.8	Plaice (BLAXTER & STAINES[23])
(E) Neccessary search vol (l/day)	9—19	17—39	35—78	141—318	B/2μg/l
(F) Minimum prey concentration (μg/l)	14—32	7—15	7—15	13—28	B/C/D
(G) Percentages of prey stock to the required	6—14	13—29	13—29	7—15	2μg/l/F$\times$100
(H) Vol (l) of parcel when preys make a single aggregation	208—476	444—952	444—952	238—513	2μg/$l\times$3.33m^3/F

ontogenetic variation of the food requirement, feeding ability and feeding conditions in a Hirame larva. Larvae of body length shorter than 5.5mm[20] or 5.9mm[24] depend mainly on copepod nauplii before depending on appendicularians and copepodites[20,24] for their food. The body dry weight of the Hirame of 5.5mm in body length is 1.4mg[11] assuming dry/wet weight ratio is 0.2,[21] and corresponds to a 50 day old specimen.[15] Copepod nauplii are distributed at a mean density of 10 individuals per liter in the area surveyed (NAKASHIMA unpublished). Though the body weight of a single individual of nauplius ranges over two figures, a value of 2.0 μg in dry weight is adopted for *Acartia* nauplii of 200 μm in body length.[25] Therefore, the nauplius biomass is 2 μg dry weight/l.

When the Hirame larvae depend entirely on the copepod nauplii during the pelagic life of 50 days after hatching, the needed volume of water to fulfill the requirement is given in Line E of Table 4. We have no information on the feeding ability of the Hirama, so we apply the approximate values deduced from the figures obtained by BLAXTER and STAINES[23] for the North Sea plaice. The volume is too large compared with the capable search volume (Line C), and the food search capability is only 9-33% of the volume necessary to fulfill the food demand (Line E). These percentages must be lowered with regard to the feeding success ranging from 40 to 80% (Line D). The minimum prey concentration to sustain the demand of the larva is given in Line F, and the standing stock of nauplii, 2 μg dry weight/l, is by far lower than that (6-29%, Line G). However, they are able to satisfy their requirement in stages older than 50 days due to feeding on larger organisms which have a biomass of 30-50 $\mu g/l$ retained by 100 μm meshed plankton net. These explain the high vacancy of stomach during early stages. In spite of the availability of surplus preys in a certain unit volume of water, e. g., 1m^3, many larvae are not able to catch enough to fulfill the requirement, i. e., assuming that the preys are distributed at random.

Some larvae satisfy their appetite, but many larvae are famished. Let's consider the prey environment for the animals which succeeded in the predation. As mentioned above the density of larvae was 0.3/m^3. Assuming that they are distributed at random because we have no information on the small scaled spatial distribution of 1 meter scale, a single individual of larva spatially occupies a mean 3.33 m^3 of water.

Plankton copepods sometimes show an aggregated community, called swarm, in shallow shore waters,[26,27] and this is suggested to be significant in the food supply for fish larvae.[27,28] When prey animals make a single swarm in 3.33 m^3 of water the volume of parcels with the minimum amount of food is illustrated in Line H of Table 4, and the volume of the swarm ranges from 3 to 952 liters (Lines C and H). If these have a spherical aggregation, their radius is distributed at the range of 9-61cm.

As a conclusion the authors would state the importance to elucidate on the small scale spatial distribution pattern of the prey organisms as well as that of the predators.

Acknowledgements: The authors are grateful to Mr. M. YANO and Dr. F. KOGA of this Laboratory for the encouragement and valuable suggestions they have given through the whole work. Particular thanks are due to Dr. M. TANAKA of Kyoto University who provided the Hirame larva speciments for stomach content survey. Zooplankton sampling operation at sea was carried with the assistance of

Dr. TANAKA of Kyoto, Mr. M. AZETA, Mr. H. SUDO and crew members of the R/V Yōkō Maru of the Laboratory. Their help is deeply appreciated.

This work was conducted under the research project "Marine Ranching Program" supported by the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (MRP 86-IV-2-3).

References

1) MAY, R. C. 1974: Larval mortality in marine fishes and the critical period concept. In "The Early Life History of Fish" (ed. J. H. S. Blaxter), pp. 3-19, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 765 pp.

2) AZETA, M. 1981: Some considerations on the high mortality during the larval stage of fish with special reference to the fluctuation of population-Based on the population dynamics investigations of early life history of anchovy. *Rep. Fish. Resources Invest. Scientists Fish. Agency*, (22), 7-28. (In Japanese with English abstract)

3) HUNTER, J. R. 1972: Swimming and feeding behavior of larval anchovy *Engraulis mordax*. *Fish Bull., U. S.*, **70**, 821-838.

4) O'CONNELL, C. P. and L. P. RAYMOND 1970: The effect of food density on survival and growth of early post yolksac larvae of the northern anchovy (*Engraulis mordax* Girard) in the laboratory. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, **5**, 187-197.

5) ROSENTHAL, H. and G. HEMPEL 1970: Experimental studies in feeding and food requirements of herring larvae (*Clupea harengus* L.). In "Marine Food Chains" (ed. J. H. Steele), pp. 344-364, Oliver and Boyd, Edinburgh, 552 pp.

6) LAURENCE, G. C. 1974: Growth and survival of haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) larvae in relation to planktonic prey concentration. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, **31**, 1415-1419.

7) LAURENCE G. C. 1977: A bioenergetic model for the analysis of feeding and survival potential of winter flounder, *Pseudopleuronectes americanus*, larvae during the period from hatching to metamorphosis. *Fish. Bull., U. S.*, **75**, 529-546.

8) HOUD, E. D. 1978: Critical food concentrations for larvae of three species of subtropical marine fishes. *Bull. mar. Sci.*, **28**, 395-411.

9) NISHIMURA, S. 1957: Some considerations regarding the amount of foods daily taken by an early postlarva of sardine. *Annual Rep. Japan Sea reg. Fish. Res. Lab.*, (3), 77-84.

10) TANAKA, M. 1981: Feeding and survival in marine fish larvae. IV. Density of food organisms for fish larvae in the sea. *Aquabiol.*, **15**, 293-299. (In Japanese with English abstract)

11) YASUNAGA, Y. 1971: Studies on the feeding habit and growth of the plaice, *Paralichthys olivaceus*, in the larval stage. *Bull. Tokai reg. Fish. Res. Lab.*, (68), 31-43. (In Japanese with English abstract)

12) FUSHIMI, T. 1975: Jiryo (Food for the larval red sea bream *Pagrus major* culture). *Suisangaku shirizu (Fish. Sci. Ser.)*, **8** (ed. Japan. Soc. Sci. Fish.), pp. 67-83, Koseisha Koseikaku, Tokyo, 122 pp. (In Japanese)

13) KITAJIMA, C. 1976: Amount of the copepod, *Tigriopus japonicus*, consumed by red sea bream larvae, *Pagrus major*. *Bull. Nagasaki Pref. Inst. Fish.*, (2), 101-104. (In Japanese)

14) KITAJIMA, C., K. FUKUSHO, H. IWAMOTO and H. YAMAMOTO 1976: Amount of the rotifer, *Brachionus plicatilis*, consumed by red sea bream larvae, *Pagrus major*. *Bull. Nagasaki Pref. Inst. Fish.*, (2), 105–112. (In Japanese)

15) MORIOKA, Y. 1985: Growth, respiration and food requirement of a flounder, *Paralichthys olivaceus*, in its early life history. *Bull. Seikai reg. Fish. Res. Lab.*, (62), 67–77.

16) IKEDA, T. 1974: Nutrition ecology of marine zooplankton. *Mem. Fac. Fish., Hokkaido Univ.*, **22**, 1–97.

17) EDWARDS, R. R. C. 1967: Estimation of respiratory rate of young plaice (*Pleuronectes platessa* L.) in natural conditions using zinc-65. *Nature*, Lond., (216), 1335–1337.

18) MANN, K. H. 1969: The dynamics of aquatic ecosystems. *Adv. ecol. Res.*, **6**, 1–81.

19) KURATA, H. 1959: Preliminary report on the rearing of the herring larvae. *Bull. Hokkaido reg. Fish. Res. Lab.*, (20), 117–138. (In Japanese with English abstract)

20) MINAMI, T. 1982: The early life history of a flounder *Paralichthys olivaceus*. *Bull. Japan. Soc. sci. Fish.*, **48**, 1581–1588. (In Japanese with English abstract)

21) OMORI, M. 1969: Weight and chemical composition of some important oceanic zooplankton in the North Pacific Ocean. *Mar. Biol.*, **3**, 4–10.

22) MORIOKA, Y. 1981: Zooplankton production in the Toyama Bay in March–May, 1978. *Bull. Japan Sea reg. Fish. Res. Lab.*, (32), 57–64.

23) BLAXTER, J. H. S. and M. E. STAINES 1971: Food searching potential in marine fish larvae. In "Fourth European Marine Biology Symposium" (ed. D. J. Crisp), pp. 467–485. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 599 pp.

24) KUWAHARA, A. and S. SUZUKI 1982: Vertical distribution and feeding of a flounder *Paralichthys olivaceus* larva. *Bull. Japan. Soc. sci. Fish.*, **48**, 1375–1381. (In Japanese with English abstract)

25) UYE, S. 1982: Population dynamics and production of *Acartia clausi* Giesbrecht (Copepoda: Calanoida) in inlet waters. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, **57**, 55–83.

26) HAMNER, W. M. and J. H. CARLETON 1979: Copepod swarms: attributes and role in coral reef ecosystems. *Limnol. Oceanog.*, **24**, 1–14.

27) UEDA, H., A. KUWAHARA, M. TANAKA and M. AZETA 1983: Underwater observations on copepod swarms in temperate and subtropical waters. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **11**, 165–171.

28) ANRAKU, M. 1975: Microdistribution of marine copepods in a small inlet. *Mar. Biol.*, **30**, 79–87.

九州西部平戸島近海におけるヒラメ稚仔の餌料要求とプランクトンの分布様式

森岡　泰啓・中嶋　純子・木元　克則

抄　　録

1982年から1985年の毎年5月上旬，平戸島近海，北緯33度10分，東経129度20分を中心とする約400平方海里内の19定点における稚魚網（口径130cm，網目幅0.5mm）の50m以浅層傾斜びき試料から選別された浮遊期ヒラメの消化管内容物を調べたところ，年による違いはあるものの空胃の個体が多かった．

既往の資料によるヒラメをふくむ主に異体類の稚仔の食物要求量（1日あたり体重の20〜45%）と体重に対する消化管の最大充満量の比率（10〜20%）とから得られる1日あたりの所要回転数（1〜4.5）が，1日12時間に食物が消化管を通過すると見込まれる回数（2.4〜4.0）とが似ていることから，空胃の稚仔は飢餓状態にあると解釈される．

しかしながら，ヒラメが全浮遊期間の約80日に要する餌料は1日あたり0.4〜0.9mg（乾重量），この期間の餌料と目される網目幅 100μm のネットで得られるプランクトンの1m³あたり1日あたりの生産量は3〜5mg（乾重量）と概算され，このことから1m³あたり3〜12尾のヒラメを養うことができることになるのに対し，海洋現場でのヒラメをふくむ全稚仔魚の分布密度は，1m³あたり0.1〜0.5尾にすぎなかった．栄養をおもに橈脚類ノープリアス期幼生に依存する生後50日間においては，北欧産ツノガレイの1種での値を用いるならば，餌料を探索，捕獲できる水量（12時間あたり 3〜28 *l*）は，ノープリアスの平均分布密度（2μg 乾重量/*l*）のもとで掃破しなければならない水量（12時間あたり 9〜318 *l*，成長とともに増大）に比べてきわめて少ない．すなわち，プランクトンがまばらに分布していたのでは稚仔の生残や正常な発育に要するだけの餌料を捕獲できない．プランクトンはある場所に集中的に分布して濃密な群を成していなければならず，それが塊状であるとしたときその容積は 3〜952 *l* と見積られる．

微小動物プランクトン計数方法の検討

中嶋　純子*・木元　克則*

Comparison of the Two Counting Methods for Microzooplankton

Junko NAKASHIMA* and Katsunori KIMOTO*

Microscopic counting work was made to compare the number of tintinnid protozoan individuals provided by the two methods of settling-sedimentation and membrane filtration on the water samples collected in the Bay of Ariake-kai, western Kyushu.

When tintinnids were counted by the settling-sedimentation method, smaller tintinnids were underestimated by 40-90% due to concealment with suspended matters in sea water. On the other hand, the number of tintinnids which was counted by the membrane filtration method was higher than that of preceeding one, since suspended matter became transparent with emersion oil submerging, and it made possible to observe the bodies of tintinnid clearly.

It is concluded that using the membrane filteration method is adequate to observe and count the specimens of microzooplankton associated with much suspended matter.

近年海洋の生物生産に関する研究が進むにつれて，細かい網目を通り抜ける微細な動物プランクトン群の重要性が指摘されている[1,2]．200μm の網目を通り抜ける動物プランクトン群集は一般に微小動物プランクトンと称され，これには原生動物の繊毛虫，放散虫や甲殻類のかいあし類のノープリアス期幼生などの後生動物の幼生など，様々な動物群が含まれている．これらは小型であるためネットにより正確に定量採集することは難しく，定量採集のためには一定量の水を採り，濃縮して標本を集める方法が用いられている．標本の濃縮には，ふるい布，遠心分離，沈殿及びメンブレンフィルターによる方法などが用いられているが，それぞれの方法には短所や長所がある[3]．今回，沈殿により濃縮した後に水とともに検鏡する方法（ここでは沈殿法という）と，メンブレンフィルター上に濃縮し，透明化したフィルター上の標本を検鏡する方法（ここではメンブレン法という）の二つの方法を用いて，微小動物プランクトン群のなかで出現個体数において最も重要な有鐘繊毛虫類を計数し，その結果を比較検討したので報告する．

昭和62年1月14日受理（Recieved January 14, 1987）
西海区水産研究所業績第436号（Contributions from the Seikai Regional Fisheries Research Laboratory, No. 436）
*西海区水産研究所 〒850 長崎市国分町49（Seikai Regional Fisheries Research Laboratory, Kokubu machi, Nagasaki 850, Japan）

方　　　　法

試水は1980年6月及び11月に Fig. 1 に示す有明海の湾奥部から湾口部にかけて設定した6つの調査点において，バンドン型採水器（6 l 容）もしくはニスキン型採水器（10l 容）を用いて表層，中層及び底層（海底上1 m）の3層から採取し，それらから1 l とり，中性ホルマリンを2%になるよう加え固定して保存した．固定された試水を2つに分け以下に示す沈殿法とメンブレン法により処理した．

沈殿法では試水500ml をプラスチック（PTM®）製メスシリンダー内で24時間以上静置して沈殿させた後，ガラス製サイフォンを用いて数時間かけて上澄みを排水し，50ml に濃縮した．メンブレン法では試水100ml を格子入り直径25mmのメンブレンフィルター（Millipore® HAWG）上にろ過して捕集し，イマージョンオイルで透明化した後，カバーグラスをかけて封入し常温下で保存した．両方法とも生物顕微鏡を用いて種毎に個体数を計数した．

懸濁物質は試水1～2 l を事前に450℃で4時間焼いた直径47㎜のガラス繊維ろ紙（Whatman®GF/C）を田中・代田[4] に従い2枚重ねし，ろ過して捕集し，冷凍保存し研究室に持ち帰った．フィルターを15分間塩酸蒸気にさらした後，柳本製作所製 MT-2型炭素・窒素・水素分析器により分析した．

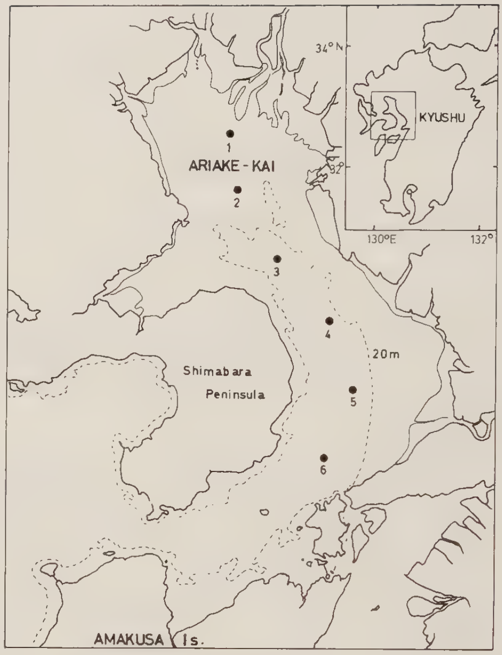


Fig. 1. 有明海における6調査定点
A map showing the location of stations in the Bay of Ariake-kai, June and November 1980.

結 果 及 び 考 察

有明海に出現した有鐘繊毛虫類は，6月には4属11種，11月には3属8種であった（Table 1）．その大きさは口径約20～80μm，殻長約40～400μm と範囲が広かった．形態的特徴としては円筒型，円錐型，壷型などの型があり，殻（lorica）に微細な砂粒を付けていて不透明，もしくは付けていず透明であるなど様々であるが，すべて我が国の内湾域，沿岸域に普通に出現する種であった[5-7]．

6月と11月の6調査点の各層における沈殿法とメンブレン法で計数された1 l あたりの個体数の関係を Fig. 2 に示した．図中両法による計数個体数が同じであれば原点を通る傾き1の線上に並ぶが，6月及び11月ともにメンブレン法で計数された個体数が多く，それは湾の奥部の Stn. 1 の表層（1-S）や Stn. 2 の表層（2-S）に著しい．

メンブレン法で計数された個体数が多かった6月の湾奥部 Stn. 2 の表層及び沈殿法とメンブレン法との比がほぼ1の湾口部の Stn. 6 の表層における2つの計数方法による主要3種（*Tintinnopsis beroidea, T. tubulosoides, T. radix*）の出現個体数を比較した（Fig. 3a）．*T. beroidea* と *T. tubulosoides* は小型でありながら殻面に多くの微細な砂粒をつけているために，メンブレン法では周囲の不定形の異物がイマージョンオイルによって透明化されたために有鐘繊毛虫が顕在化して観察しやすくなった．これら2種は Stn. 2 の表層の沈殿法では，細心の注意を払って観察したにもかかわらず，異物と混りあって計数されないものが生じたと思われ，*T. beroidea* は1 l あたり100個体であり，

Table 1. 有明海に出現した主要な有鐘繊毛虫の大きさとその形態的特徴
Principal species of tintinnids and their size and shape occurred in the Bay of Ariake-kai, June and November 1980.

Species	Occurrence		Diameter of lorica (μm)	Length of lorica (μm)	Shape
	June	Nov.			
Tintinnopsis beroidea	○	○	24 — 29	78 — 98	Cylinder-conical
T. tubulosoides	○	○	29 — 59	88 — 137	Cylinder-conical
T. kofoidi		○	59	98	Cylinder conical
T. directa	○		24 — 39	78 — 88	Bowl-like
T. lohmanni	○		39 — 59	59 — 117	Bowl like
T. nana	○	○	20	49 — 98	Cylindrical
T. corniger	○		20	68	Cylindrical
T. radix	○	○	49 — 59	107 — 391	Cylindrical
T. aperta	○	○	20 — 29	98 — 107	Cylindrical
Helicostomella longa	○		20	78 — 98	Conical, transparent
Favella ehrenbergii	○	○	39 — 78	142 — 186	Cylindrical
Amphorella quadrilineata		○	20 — 39	147 — 176	Cylindrical, transparent
Eutintinnus lusus-undae	○		39 — 49	186 — 225	Cylindrical, transparent

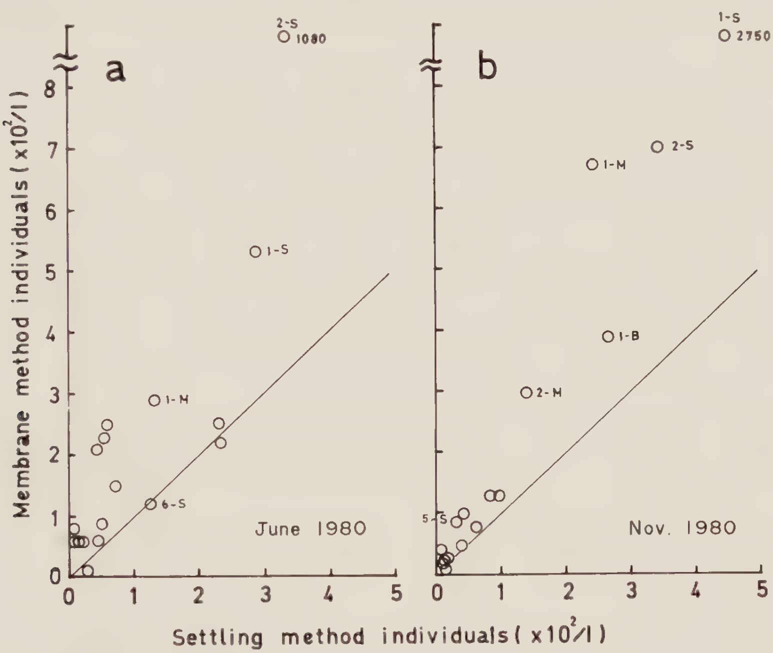


Fig. 2. 有明海の6調査点の3層（S：表層，M：中層，B：底層）における沈殿法とメンブレン法により計数された有鐘繊毛虫の個体数の関係
Relationship between the number of individuals of tintinnids counted by settling-sedimentation and membrane filtration method at layers (S : surface, M : mid layer, B : bottom) at 6 stations in the Bay of Ariake kai, June and November 1980.

これはメンブレン法に対して7分の1しか計数されなかったことになる．やや大型の *T. tubulosoides* でも

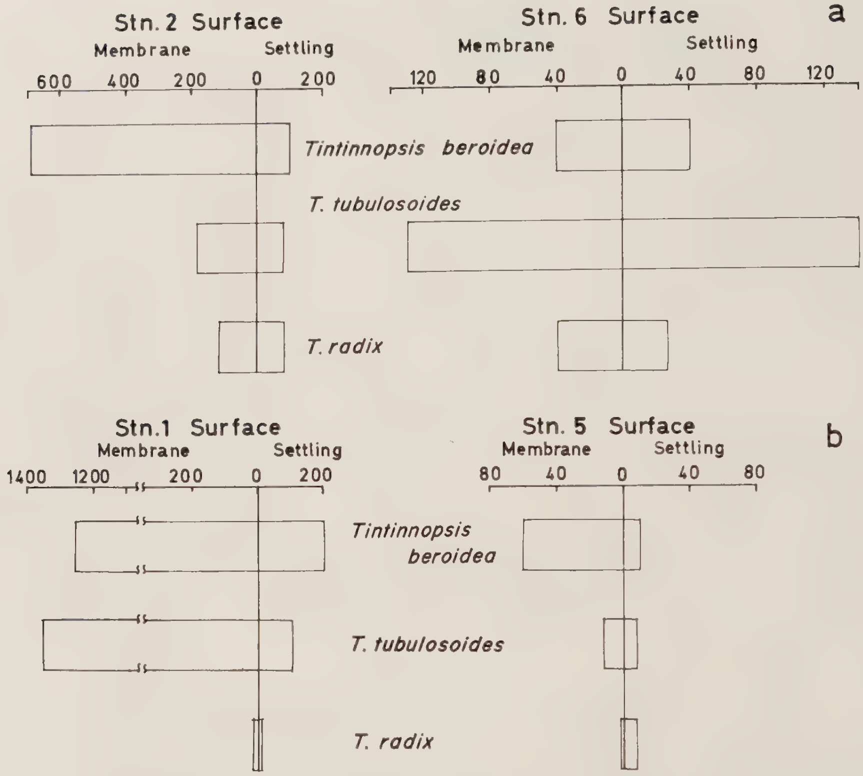


Fig. 3. 主要種の沈殿法とメンブレン法による計数の比較
Comparison between the number of individuals (per l) of principal species among tintinnids counted by settling-sedimentation and membrane filtration method in the Bay of Ariake-kai.
a : June 1980
b : November 1980

Table 2. 沈殿法とメンブレン法により計数された有鐘繊毛虫の個体数の比率
The ratio of the number of individuals counted by settling-sedimentation method to membrane filtration method in the Bay of Ariake-kai, June and November 1980.

	Layer (m)	Stn. 1	Stn. 2	Stn. 3	Stn. 4	Stn. 5	Stn. 6	Mean	S. D.
June 1980	Surface (0.5)	0.54	0.31	1.05	0.24	0.92	1.06	0.69	0.73
	Middle (5.5-21)	0.46	0.21	0.25	0.64	0.98	0.77	0.55	0.30
	Bottom (11-42)	0.24	0.20	0.40	0.23	3.20	0.69	0.83	1.18
Nov. 1980	Surface (0.5)	0.16	0.49	0.65	0.84	0.36	1.00	0.58	0.31
	Middle (5-20)	0.36	0.47	0.78	0.60	0.60	1.60	0.73	0.45
	Bottom (10-45)	0.68	0.74	0.44	0.65	0.60	0.53	0.61	0.11
	Mean	0.41	0.40	0.59	0.53	1.11	0.94	0.67	
	S. D.	0.19	0.21	0.29	0.24	1.05	0.38		0.53

沈殿法での計数は1 l あたり80個体であり，メンブレン法のそれの約3分の1であった．Stn. 6 ではきょう雑物が少なかったために検鏡しやすく両方法の計数結果はほとんど同じであった．*T. radix* は出現種の中で最大であり両方法でも見やすく計数しやすく，計数結果の差は少なかった．

同じく11月における沈殿法とメンブレン法の主要種の計数結果を比較する（Fig. 3b）．*Tintinnopsis beroidea* は Stn. 1 と Stn. 5 で，*T. tubulosoides* は Stn. 5 においてメンブレン法による個体数が圧倒的に多い．このようにメンブレン法ではフィルター上に捕集された懸濁物は透明化されるが，砂粒をつけた有鐘繊毛虫類は不透明なままで識別しやすくなり，これと比較すると沈殿法での計数が過少になるものと考えられた．

Table 3. 有明海の6調査点における粒状有機態炭素量（$\mu g/l$）
Standing stocks of particulate organic carbon ($\mu g/l$) at 6 stations in the Bay of Ariake-kai, June and November 1980.

	Layer (m)	Stn. 1	Stn. 2	Stn. 3	Stn. 4	Stn. 5	Stn. 6
June 1980	Surface (0.5)	973.3	934.5	641.6	659.9	778.7	567.9
	Middle (5.5-20)	963.4	635.5	409.4	449.1	243.2	287.9
	Bottom (11-40)	891.4	810.1	558.3	614.0	276.5	267.4
Nov. 1980	Surface (0.5)	651.8	420.1	204.0	248.3	387.9	431.1
	Middle (5-20)	834.8	391.2	234.5	246.0	223.4	328.5
	Bottom (10-45)	741.2	385.7	260.8	277.9	274.2	220.4

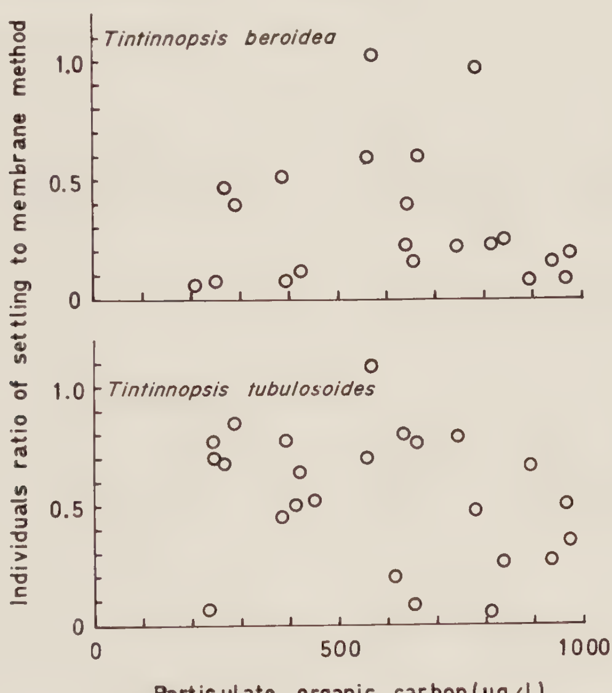


Fig. 4. 粒状有機態炭素量（$\mu g/l$）と沈殿法，メンブレン法による計数個体数の比との関係
Relationship between particulate organic carbon and individuals ratio of settling sedimentation method to membrane filtration method.

両方法によって数えられた個体数の比は0.16〜3.20と幅広い範囲にあり，各定点，各層のばらつきはやや大きかった（Table 2）．6月，11月とも湾奥で沈殿法による計数が過少となっており，各調査点の平均は湾奥の Stn. 1 で0.41であるのに対し，湾口の Stn. 6 では0.94とその比は1に近くなっている．

有明海は植物プランクトンや懸濁物質が多い[8]．同時に測定された粒状有機態炭素の量を Table 3 に示す．湾奥部の Stn. 1 では粒状有機態炭素量が多く 1 l あたり最高973μg であり，その濃度は湾口部の約3倍であった．これらが顕微鏡下で視界を遮った異物の正体であり，微小動物プランクトンの計数の妨げになっていた可能性がある．

懸濁物質の多少と検鏡個体数の関係を見るために，全調査点で普遍的に最も多く出現した *T. beroidea* 及び *T. tubulosoides* について沈殿法のメンブレン法に対する計数個体数の比を懸濁物質量と比較した（Fig. 4）．この比は粒状有機態炭素量が多くなるにつれて小さくなる傾向があることから懸濁物質が沈殿法での計数を過少にした大きな原因の一つであることが推察される．

有鐘繊毛虫類の計数には沈殿法を用いるのが一般的であるが，この方法もすべての水域の標本計数に必ずしも適しているとは考えられない．例えば，有明海の標本についてみると極めて注意深く観察，計数したにもかかわらず沈殿法での計数結果はメンブレン法より過小評価となった．これは特に有機態炭素量の多い湾奥部に著しくなり，検討の結果この原因は懸濁物が多いことにあると考えられた．従って有明海のように懸濁物量の多い海域では，微小動物プランクトンの計数は沈殿法よりもむしろメンブレン法による計数が適していると考えられる．

文　　献

1）J. D. H. Strickland 1972 : Research on the marine planktonic food web at the institute of marine resources : a review of the past seven years of work. *Oceanogr. mar. Biol. Ann. Rev.*, **10**, 349-414.

2）谷口　旭　1977：フィリッピン海とセレベス海における1977年夏季の橈脚類幼生および有鐘類の生産量とサイズ組成．日本プランクトン学会報，**24** (1)，1〜10．

3）大森　信・池田　勉　1979：動物プランクトン生態研究法．23-25，共立出版，東京，229pp.

4）田中勝久・代田昭彦　1983：東シナ海大陸沿岸水中における懸濁粘土粒子と凝集体．西水研研報，(60)，1-9.

5）Y. Hada 1932 : Report of the biological survey of Mutsu Bay. 24. The pelagic Ciliata, suborder Tintinnoinea. *Sci. Rep. Tohoku imp. Univ., 4th Ser.*, **7**, 553-573.

6）羽田良禾　1935：南洋地方諸海の浮遊性繊毛虫 Tintinnoinea と其の研究結果より考察せる蜉の性状に就いて．日水誌，**4**，242-252.

7）結城勝久　1984：琉球諸島黒潮域の有鐘繊毛虫類目録．東海大学海洋研究所研究報告，(6)，51-60.

8）木元克則・安楽正照　1982：有明海における海況と植物プランクトンの現存量．陽光丸調査研究報告，(4)，72-80.

開口比の異なる2種類のプランクトンネット内の水流

小笹 悦二*・木元 克則*

Water-Flow Pattern in Plankton Nets with Different Open Area Ratios

Etsuji KOZASA* and Katsunori KIMOTO*

To analyze how organisms in the plankton net are trapped, current pattern in the net was observed for two types of gears having different open area ratios, 2.0 in net A and 5.0 in net B, in a truck-type circulating water tank. Tiny plastic balls and strips of tape were put in the current of a mean velocity of 69.8cm/sec. and traced. Measurement of the flow direction and speed was made by a three-dimensional electro-magnetic current meter.

As soon as the balls reached the netting they slid along it and deposited in the bucket. While the strips adhered to the netting at the reaching and did not move. The stream kept straight from the mouth to the end of the net at or near the central axis of it, and somewhat unstable at the locations closer to the netting. The current velocity inside the net A was higher than that in front of the mouth. In the net B, however, the current velocity was higher in the space from the middle to the end of the cone than that in other place, probably because of so-called net suction phenomenon.

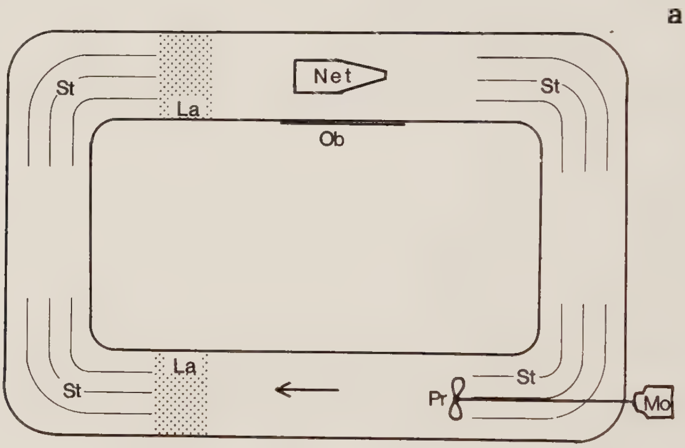
プランクトンを採集する基本的な手段としてプランクトンネットが広く使用されている．この方法は採水器等を用いた採水法やポンプ採集法に比べて簡単にしかも大量に試料を得ることができる．しかし，ネット内に捕集された生物は網地との衝突や摩擦，または網地との絡みつき等が複雑に関係して，採水法に比べると生物の損傷が大きいことも知られている[1,2]．

ネット内に流入した水の動態に関してこれまでWIEGHARDT[3]，McGOWAN and BROWN[4]，TRANTER and HERON[5]，TRANTER and SMITH[6]，TRANTER[7] 等の多くの報告がある．これらはいずれも煙や色素及びアルミ紛等を用いた風洞装置によってその流線について実験検討したものであり，ネット内における水の流れについては不明な点が多い．著者はネット内に水とともに連行された生物損傷のメカニズムを知る手掛かりを得る目的で，ネット内に流入した水がどのような流路を経て網地に達しているのかを掴むために還流水槽内の水流にプラスチック製の小さな球とテープを流して，網口前面とネット内の流況を観察するとともに三軸電磁流速計を用いて縦横断面における三次元の流向流速を立体的に測定した．

昭和62年1月8日受理（Recieved January 8, 1987）
西海区水産研究所業績第437号（Contribution from the Seikai Regional Fisheries Research Laboratory, No. 437）
*西海区水産研究所〒850長崎市国分町49（Seikai Regional Fisheries Research Laboratory, Kokubu machi, Nagasaki 850, Japan）

測　定　方　法

実験に用いられた水槽は長崎大学水産学部の構内に設置された鉄製の長径430cm，短径230cm，内幅80cm，内高80cmのトラック型還流水槽で，プロペラによって起こされた水流は水槽の四隅の縦型整流板及び推進機前方と観察窓左前方の格子型整流板によって整流される（Fig. 1a）．水槽内に測定物がない無負荷状態時における定常流を観察窓（Fig. 1a）を中心に流れに沿って鉛直方向に10cm間隔で7断面（Ⅰ～Ⅶ），流れに沿って水平方向に底面から上方へ10cm間隔に6断面，流向に対して直角な横断面を10cm間隔に17断面（A～Q）が交差する計714点（Fig. 1b）について測定した．この水槽C断面の測点Ⅲ～Ⅴにおける定常流を，本水槽の最大安定流速である平均69.8cm/秒（n＝18）に設定した．プランクトンネットを保持するためにL字型金具2本を縦に組み立てて水槽上方から下ろし，その下端に，口輪（小笹[8]）の左右にある支持軸を支え，網の末端部が振れないようにバケット（500mℓ広口ポリ瓶）の上方からL字型金具1本を下ろしてバケットを



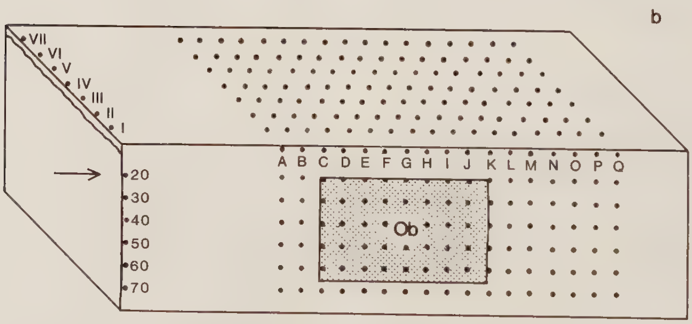


Fig. 1. トラック型還流水槽
Truck-type circulating water tank.
a : Plane figure of the test tank
b : Measuring positions
St : Rectifier board of standing board type
La : Latticed rectifier board
Ob : Observating window
P : Propeller
Mo : Motor
Arrow shows the direction of current

固定した．プランクトンネットは口輪の中心線がD断面と断面Ⅳの交点が底面から上方35cmの位置になるよう固定した．プランクトンネットは口径30cm，網裾直径6cm，網目幅335μm の網地（nytal® 52GG）を張ったAネット（開口比R＝2.0，円筒部長13cm，円錐部長30cm）とBネット（R＝5.0，円筒部長33cm，円錐部長81cm）の2種類である．

1）物体による観察：長径と短径が各5×7mmと7×10mmの楕円球（合成樹脂製，比重1.0）を直径0.3mmの釣用テグスに5cm間隔に多数付けたもの（長さ150cm，以下連球と称する）と，極く薄い（厚さ25μm）幅1.6mm，長さ150cmの合成樹脂製テープ5本を1組にしたもの（以下テープと称する）のそれぞれの一端を固定して水流に並行になるように整えてからネットの前方から放して流し，その流れる過程を目視観察するとともに写真撮影した．

2）流速計による測定：測定に用いた三軸電磁流速計はアレック電子社製（型式：AMCM-3000）で測定項目はX・Y及びZ軸の流向と流速であり，センサーの規格性能は測定レンジ幅0～250cm/秒，精度±2％又は1cm/秒，方位はレンジ幅0～360°，精度±2°，センサー部の外径20mm，センサーを支える柄の長さ37cmである．

水槽の無負荷状態時における断面Cにおける測線Ⅲ～Ⅴの底面から水面付近までの流れは底面から上方10cm層では67.7cm/秒，底面から上方60cm層では76.1cm/秒であり，底層で遅く，水面側で速かった．ネット口輪の中心を流速が安定している底面から上30cm～40cm間の35cm層（69.8cm/秒）に固定した．ネット内の流れの測定部位は網口前方2cmと7cmにおける流向に直角な2断面，ネットの内側は網裾から網口方向へ5cm間隔の横断面及びその断面上でネットの中心線から水平方向へセンサーがネット側面の網地に接するまで1cm間隔に設定した．

結　　果

1．連球及びテープの流況

Aネットにおける物体の流れの状態を模式的にFig. 2 の A1～H に示した．口輪の縁辺近くを通過した連球はネットの円筒部を直進して円錐部の網地に衝突した（A1）．先頭の球が網地に衝突するまでは，2個目以降の球は先頭の球と直線状に並んで流れ，それ以後は，先頭の球から順次円錐部の網地の表面を滑って網裾付近まで流され網裾付近に全部集まるがバケット内には入らなかった（A2）．

口輪とネット中心線の中間付近から流入した連球は『A1』と同じような流れを示した（B1，B2）．

網口中央付近から流入した連球は網裾付近まで直線的に流され（C1），網裾に達した連球は順次その付近に集まった（C2）．これらの結果から網口のどの位置から流した連球も最終的にはバケット前方の網裾付近に集められた（D）．

テープを流した状態を Fig. 2 の E1～H に示した．口輪に極く近いところを通過したテープは円筒部の網地にテープの先端が触れる（E1）とその付近の網地に張り付いて（E2），連球のように網地の表面を滑って網裾側への流れはみられなかった．口輪とネット中心線の中間付近から流したテープは円筒部を直進して（F1）円錐部の網地に達したのちその付近に張り付いて網裾側への流れなかった（F2）．

網口中央から流したテープは円筒・円錐部を直進して（G1）網裾付近に達し，そこで波打つような状態（G2）になり，バケット前方に折れ曲って集まった（H）．以上のとおりネットの中央線以外から流入したテープは連球のようには網裾に集まらず，網地に触れた付近の網地表面に折れ曲がって張り付いた状態を示した．BネットはAネットより細長いために水槽の観察窓からはみだしネット全体を写真撮影することができなかったが，目視観察した結果によると連球，テープともにAネットの場合に類似した流況を示した．

2．流速計で測定した流向と流速

A，B2種類のネットにおける流向流速を比較するために両ネットで得られた測定値の最小流速を0％，最大流速を100％としてネット前面とネット内の相対流速を Fig. 3a，b に示した．Aネットにおける最大流速（66.9cm/秒）は網口前方2cmに，また，最小流速（27.7cm/秒）は網裾5cm前でみられた．ネットの中心

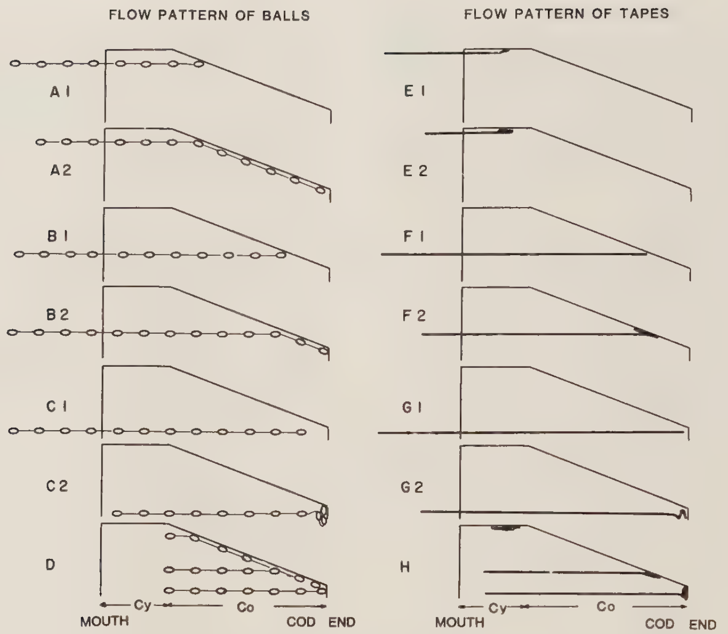


Fig. 2. Aネットにおける連球とテープの流れ方の相違
Flowing pattern of the chain of balls and the strips of plastic tape in net A.
Cy : Cylindrical area of the net
Co : Conical area of the net

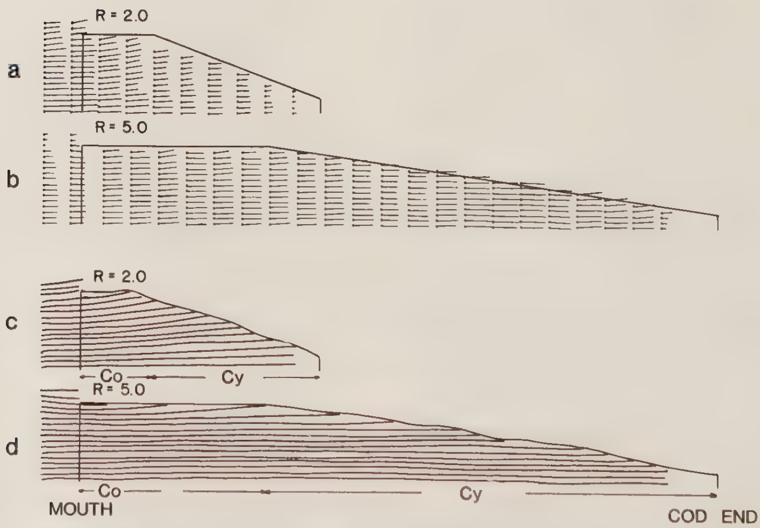


Fig. 3. 電磁流速計で測定したネット内の流向と相対流速ならびに流線
Current direction and relative currrent speed measured by electro-magnetic current meter (upper two) and the resulted stream lines (lower two) in two types of plankton net.

線付近における流速は網口前方及びネット内ともに速く，その流線は網口から網裾へ向かって直線的であった．ネット内の網地近くにおける流速は遅く，測点によって その方向は やや 外側を 指向している．すなわち，円筒部の網地近くにおいて外向きの流れが得られた測点が多かったのに対して円錐部では少なく，流れはネットの中心線に並行していた．流速は網口から網裾へ進むにしたがい弱くなっている．口輪前方2 cmにおける流れは弱い外向きを示した．

Bネットの 流況は Aネットの それと 異なっており (Fig. 3b)，最大流速（80.0cm/秒）は円錐部の中央よりやや後方で，また，最小流速（39.3cm/秒）は網口の前方7 cmにおいて測定された．ネット内における流速はネットの中心線付近と網地に近いところも大きな変化はみられなかった．円筒部の網地付近の流れは一定方向を示さず，測定位置による変化がみられた．円錐部では外向きの流れは少なく，ほぼネットの中心線に並行していた．また，網口前方2 cmの横断面より網口前方7 cmの横断面での流れが弱かった．

前記の値に基づき両ネットの流線を Fig. 3c，d に示した．ネットの輪郭は流速計のセンサーが網地に接した位置を基に描かれている．Aネットでは円筒部網地と円錐部網地は波うっていた．Aネットにおける流線はネットの中心線では網口から網裾側へ直線的であったが，網地に近い網口前方から円錐部にかけては波打っており，円筒の後部では外側を向いていた．Bネットの (Fig. 3d) 円筒部網地はゆるやかに波打っており，円錐部ではそれがさらに大きくなっている．網口前方2 cmの流れは口輪付近とそれより中心側3点ではネットの内側に向いている．このことはAネットでは口輪前方の速流よりネット内の流速が遅いのと対照的である．

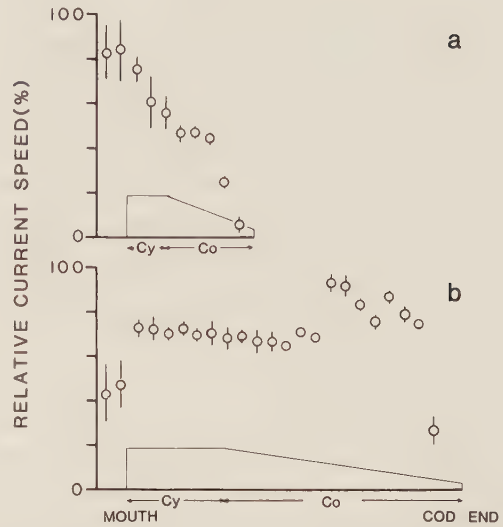


Fig. 4. 測定横断面における相対流速の平均値と標準偏差
Mean of relative current speed at the cross-sections in 2 types of plankton net.
a : Net A (R=2.0)
b : Net B (R=5.0)
Cy : Cylindrical area of the net
Co : Conical area of the net
Vertical lines : standard deviation

両ネットの各横断面における相対流速の平均流速と標準偏差を Fig. 4 に示した．Aネット（Fig. 4a）での平均流速は網口から網裾へ順次流速が遅くなり，網口前方2 cmで速く（83.8%），網裾側で遅い（5.6%）．Bネット（Fig. 4b）における 流速は Aネットのそれとは異なり，網口から円錐部中央部までの流速の変化は小さく（69.3%），円錐部中央からやや後方で速く（93.1%），網口前方7 cmで最も遅かった（48.2%）．

考　　察

プランクトンネット内の流況は Tranter[7] の報告と同様に，今回の測定でも 渦または乱流は 認められず，網口から網裾へ向かって直線的であった．連球を用いた目視観察によると，先頭の球が網地に衝突した後はその後に続く球も同様に網地の表面を滑って網裾側へ流されるのに対して，テープは網地に触れたところに密着して網裾側に流されて集まらなかった．これは，球はその表面が球形であるため網地との接触面積が球全体の面積に比べて小さく，網地との摩擦抵抗が相対的に小さいことにより網裾へ移動する．それに対して 網地に達した テープは 網裾側へ押す 水圧より水が網目から抜け出る 負の圧力が 大きいために 網地に密着して留まると考えられる．

ネット内の流れを三軸電磁流速計を用いて詳細に測定した結果によると，流向は安定しているが，流速は測定部位に よって 変化していることが 明らかに なっ

た．また，ネットの中心線付近においては直線的に流れているが，網地近くでは多少蛇行していることが認められた．開口比が小さいAネットではネット内の流速は網口前方より遅かった．しかし，Bネットではネット内の流速が網口前方のそれより速いところが多かった．これはAネットより開口比が大きいために濾過効率が良く，ネットによる吸引現象が起きているため[5,7]と考えられる．Tranter[7]によると円筒円錐形のネットでは円筒部の網地はバイブレータ現象があるとされているが，Bネットでの測定結果からもこの現象があることが認められた（Fig. 3b）．

このバイブレータ現象の他に，水圧によってネット円錐部の表面が場所によって凹凸が生じていることも今回の実験で明らかになった．この機構を検討する際の一方法として今回のように球を連ねるのではなく，単球を流してこれをマルチストロボ等を用いて分解写真撮影することがあげられる．理想的開口比とされているR＝6.5〜7のネット（McGowan and Brown[4]）についての検討も望ましく，そのためには今回よりさらに大型の還流水槽が必要である．

連球を用いた観察では，先頭の球が網地に衝突するとそれに続く球は網地の表面を滑って網裾へ移動することが確認された．魚卵の大きさは今回使用した球よりさらに小さい直径1㎜前後のものが多いが，ネット内に連行され，水圧で網地に押し付けられながら網地の表面を流される過程で，この水圧と網地との摩擦による複合した影響を受けると考えられる．以上のようにネット内の流れはほぼ直線的であるが，ネット内に連行された魚卵等の生物が受ける水流に起因する機械的な影響は無視できないので，採集生物の生理学的な活性を問題にする場合にはネットの形状，開口比，材質等に関して充分考慮することが必要であろう．

本実験を行なうに際して，ご指導と御協力いただいた長崎大学水産学部中才　哲教授に深謝し，取りまとめに際し指導いただいた西海区水産研究所山下秀夫海洋部第二研究室長ならびに森岡泰啓浅海開発部第一研究室長に心から御礼申し上げる．

要　　約

プランクトンネット内に連行された生物が，どのような流路を経て網地に達し，その後どのような状態にあるのかを把握する手掛かりを得るために，トラック型還流水槽を用いて，開口比2.0のAネットと5.0のBネットを比較検討した．このため，球とテープを流してそれらの流程を観察し，また，三軸電磁流速計を用いて流向流速を測定した．

網口から連行された球は網地に達した後は網地の表面を滑って網裾付近に集まる．一方，テープは網地に達したらその付近に張り付き，球のように網地の表面を移動しない．

三軸電磁流速計による測定では，ネットの中心線付近の水流は網口から網裾方向に向けて直線状に流れており，網地の内面近くの流向は多少不安定なところがみられた．

Aネットではネット前面よりネット内部の流れが遅いが，Bネットではネット前面の流れよりネット円錐部中央より後方における流れが速い．これはネットの吸引現象によるものと考えられる．

文　　献

1）小笹悦二　1966：1.3m稚魚ネットによる卵・稚仔魚採集法に関する二，三の考察．西水研研報，(34)，81—94.

2）大森　信・池田　勉　1976：動物プランクトン生態研究法．生態学研究法講座5．229pp.，共立出版株式会社，東京．

3）K. E. G. Wieghardt 1953：On the resistance of screens. *Aeronaut. Q.*, 4, 186-192.（Cited by D. J. Tranter：A formula for the filtration coefficient of a plankton net. *Aust. J. mar. Freshwat. Res.*, **18**, 113-121.）

4）J. A. McGowan and D. M. Brown 1966：A

new opening-closing paired zooplankton net. *Scripps Inst. Oceanogr. Ref.*, 66-23, 1-54.

5) D. J. TRANTER and A. C. HERON 1967 : Experiments on filtration in plankton nets. *Aust. J. mar. Freshwat. Res.*, **18**, 89-111.

6) J. TRANTER and P. E. SMITH 1968 : Filtration performance, In. "Monographs on oceanographic methodology 2. Zooplankton sampling." (ed. by D. J. TRANTER), Part I, 3, 27-56. UNESCO, Paris.

7) D. J. TRANTER 1967 : A formula for the filtration coefficient of a plankton net. *Aust. J. mar. Freshwat. Res.*, **18**, 113-121.

8) 小笹悦二 1984：ジンバルネットの試作について．日水誌，**50** (8), 1447.

非　売　品

昭和62年３月10日　印刷
昭和62年３月15日　発行

水産庁西海区水産研究所
〒850　長崎市国分町49

印刷人　松尾隆一郎
印刷所　株式会社　隆文社
佐世保市瀬戸越町3-4-7
電話（0956）㊾３３０６

CONTENTS

(In Japanese with English abstract, and the asterisked in English)

Osamu KATOH, Kohachi HAYASHI and Seiichi HAMASAKI
Sudden Rise and Fall of Surface Water Temperature in Spring in the Southwest Coastal Region of the Japan Sea ········ 1

*Katsuhisa TANAKA, Shiroh UNO, Wataru SAKAMOTO and Akihiko SHIROTA
Turbid Water Area in the East China Sea ········ 13

Shichiro HAMADA and Taikou MITSUSIO
Submarine Geological Classification of Bottom Sediments in the East China Sea and the Yellow Sea ········ 25

Katsunori KIMOTO, Junko NAKASHIMA and Yasuhiro MORIOKA
Standing Stock of Chorophyll *a* and Primary Productivity in a Small Inlet of Kyushu ········ 35

Fumihiro KOGA
The Occurrence Properties, Biomass and Production of Zooplankton in Osaka Bay, Eastern Seto Inland Sea ········ 47

*Yasuhiro MORIOKA, Junko NAKASHIMA and Katsunori KIMOTO
Food Requirement of the Flounder Larvae and Possible Distribution Pattern of the Prey Organisms in the Waters Adjacent to Hirado Island, Kyushu ········ 67

Junko NAKASHIMA and Katsuonri KIMOTO
Comparison of the Two Counting Methods for Microzooplankton ······ 77

Etsuji KOZASA and Katsunori KIMOTO
Water-Flow Pattern in Plankton Nets with Different Open Area Ratios ········ 83

SEIKAI REGIONAL FISHERIES RESEARCH LABORATORY

49 KOKUBU-MACHI, NAGASAKI 850

JAPAN